



UNIVERZITET U NOVOM SADU
Tehnološki fakultet
Prehrambeno-biotehnološke nauke

**Efekti osmotske dehidracije na poboljšanje
održivosti, nutritivna i antioksidativna
svojstva korena i lista celera (*Apium
graveolens*)**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor:
Prof. dr Ljubinko Lević

Kandidat:
dipl. inž. Milica Nićetin

Novi Sad, 2017. Godine

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska teza
Ime i prezime autora: AU	Milica Nićetin, dipl.inž.-master
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Prof. dr Ljubinko Lević, redovni profesor (u penziji)
Naslov rada: NR	Efekti osmotske dehidracije na poboljšanje održivosti, nutritivna i antioksidativna svojstva korena i lista celera (<i>Apium graveolens</i>)
Jezik publikacije: JP	Srpski jezik, latinica
Jezik izvoda: JI	srp. / eng.
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2017
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Fizički opis rada: FO	6 poglavlja, 184 strane, 25 slika, 53 tabele, 210 literaturnih navoda
Naučna oblast: NO	Prehrambeno-biotehnološke nauke
Naučna disciplina: ND	Prehrambeno inženjerstvo
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Osmotska dehidracija, melasa šećerne repe, antioksidativna aktivnost, celer, nutritivni profil
UDK	66.047.8:664.151.2:66.094.3.097.8 (043.3)
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Istraživanja obuhvaćena ovom doktorskom disertacijom finansirana su od strane Ministarstva za prosvetu i nauku Republike Srbije TR31055 (2011-2017)
Izvod: IZ	<p>U ovom radu proučavana je osmotska dehidracija korena i lista celera u dva različita osmotska rastvora: vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida i melasi šećerne repe. Ispitivan je uticaj temperature procesa (20°C, 35°C i 50°C) i vremena imerzije (1, 3 i 5h) na gubitak vode, priraštaj suve materije, sadržaj suve materije, vrednosti aktivnosti vode, promenu antioksidativne aktivnosti, promenu boje i promenu mineralnog sastava (K, Mg, Ca, Fe) tokom osmotske dehidracije korena i lista celera.</p> <p>Dokazano je da se povećanjem temperature i produženjem vremena trajanja procesa pospešuje prenos mase tj. migracija molekula vode iz tretiranog biljnog materijala u okolni rastvor, i prodiranje molekula rastvorene supstance iz osmotskog rastvora u tretirano biljno tkivo. Snižene a_w vrednosti u svim ispitivanim uzorcima ukazuju na pozitivan uticaj osmotske dehidracije na mikrobiološku stabilnost tretiranog korena i lista celera, što je potvrdila i mikrobiološka analiza.</p> <p>Nasuprot rastvoru saharoze i natrijum hlorida koji je uticao na opadanje ukupne antioksidativnosti osmotski dehidriranih</p>

	<p>uzoraka, melasa šećerne repe, kao bogat izvor prirodnih antioksidanasa, doprinosi povećanju antioksidativnosti i poboljšanju funkcionalnog kvaliteta dehidriranog produkta. Usled transfera bojenih materija (melanoidina) iz melase, dolazi do tamnjenja tretiranih uzoraka. Bojene materije iz melase, zbog svojih antioksidativnih svojstava takođe doprinose poboljšanju antioksidativnosti krajnjeg produkta. Dobijeni rezultati su pokazali značajno poboljšanje mineralnog sastava korena i lista celera, dehidriranih u melasi šećerne repe, dok je kod uzoraka tretiranih u rastvoru saharoze i natrijumhlorida uočeno smanjenje sadržaja ispitivanih mineralnih materija.</p> <p>Statističkom obradom rezultata, uočeno je da su optimalni procesni parametri u pogledu efikasnosti procesa, kao i mikrobiološkog, nutritivnog, senzornog i funkcionalnog kvaliteta osmotski dehidriranog korena i lista celera, vreme trajanja procesa od 5h, na temperaturi od 50°C, u melasi šećerne repe kao osmotskom rastvoru.</p>
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	03.07.2015.
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	<p>predsednik:</p> <p>dr Vladimir Filipović, naučni saradnik, Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>mentor:</p> <p>dr Ljubinko Lević, redovni profesor (u penziji), Tehnološki fakultet, Novi Sad</p> <p>član:</p> <p>dr Pavle Mašković, docent Agronomski fakultet, Čačak</p>

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNOLOGY**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Ph.D. Thesis
Author: AU	Milica Nićetin, M.Sc.
Mentor: MN	Ljubinko Lević, Ph.D., Full Professor (retired)
Title: TI	Effects of osmotic dehydration on improving sustainability, nutritive and antioxidative properties of celery leaves and root (<i>Apium graveolens</i>)
Language of text: LT	Serbian language, Latin
Language of abstract: LA	eng. / srp.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2017
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad

Physical description: PD	6 chapters, 184 pages, 25 figures, 53 tables, 210 references
Scientific field SF	Food-biotechnical Sciences
Scientific discipline SD	Food Engineering
Subject, Key words SKW	Osmotic dehydration, sugar beet molasses, antioxidant activity, celery, nutritive profile
UC	66.047.8:664.151.2:66.094.3.097.8 (043.3)
Holding data: HD	Library of the Faculty of Technology, University of Novi Sad
Note: N	Research in this thesis was funded by Ministry of Education and Science of the Republic Serbia- TR31055 (2011-2017)
Abstract: AB	<p>In this thesis, the osmotic dehydration of celery leaves and root in two different osmotic solutions (sucrose and sodium chloride dissolved in water and sugar beet molasses), was investigated. The effect of process temperature (20°C, 35°C i 50°C) and immersion time (1, 3 and 5h) on water loss, solid gain, dry matter content, value of water activity, change of antioxidant activity, change of color parameters and change of mineral composition (K, Mg, Ca, Fe) was investigated.</p> <p>It was found that increasing of process temperature and immersion time enhance mass transfer, intensifying migration of water molecules from the treated plant material into the surrounding solution and penetration of dissolved substances molecules from the osmotic solution into the treated plant tissue. Reduced a_w values in all examined samples indicate a positive effect of osmotic dehydration on the microbiological stability of the treated celery leaves and root, which was also confirmed by the microbiological analysis.</p> <p>Contrary to the solution of sucrose and sodium chloride, which was contributed to the decrease in total antioxidant activity of osmotically dehydrated samples, sugar beet molasses, as a</p>

	<p>rich source of natural antioxidants, contributed to an increase in antioxidant activity and an improvement in the functional quality of the dehydrated products. Due to the transfer of colored substances (melanoidins) from the molasses, the color of treated samples was darker. The colored substances from molasses, due to their antioxidant properties, also contribute to the enhancement of the antioxidativity of the final product. The results showed a significant improvement of the mineral content of celery leaves and root dehydrated in sugar beet molasses, while the samples treated in sucrose and sodium chloride solution show reduction of the examined mineral matters.</p> <p>Statistical analysis revealed that optimal process parameters in terms of process efficiency, as well as the microbiological, nutritive, sensory and functional quality of the osmotically dehydrated celery leaves and root were: the process time of 5 hours, at a temperature of 50°C, in sugar beet molasses as an osmotic solution.</p>
Accepted on Senate on: AS	03.07.2015.
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	<p>president:</p> <p>Vladimir Filipović, Ph.D., Research Associate, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>mentor:</p> <p>Ljubinko Lević, Ph.D., Full Professor, Faculty of Technology, Novi Sad</p> <p>member:</p> <p>Pavle Mašković, Ph.D., Assistant Professor, Faculty of Agronomy, Čačak</p>

Spisak tabela

Tabela 2.1. Minimalne a_w vrednosti za aktivan rast mikroorganizama (Rahman, 2009)

Tabela 2.2. Sadržaj mikronutrijenata (mg/100g melase) u različitim vrstama melase

Tabela 3.1. Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u istraživanju

Tabela 3.2. Optimalne vrednosti kinetičkih parametara

Tabela 3.3. Optimalne vrednosti pokazatelja antioksidativne aktivnosti

Tabela 3.4. Optimalne vrednosti kolornih koordinata

Tabela 3.5. Optimalne vrednosti mikrobioloških parametara

Tabela 3.6. Optimalne vrednosti parametara mineralnog sastava

Tabela 4.1. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.2. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.3. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.4. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.5. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.6. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.7. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.8. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.9. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.10. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.11. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.12. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.13. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotski tretman lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.14. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.15. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.16. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.17. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.18. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.19. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.20. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.21. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.22. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.23. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.24. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.25. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.26. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.27. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.28. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.29. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.30. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.31. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Tabela 4.32. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.33. Parametri boje korena celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_1

Tabela 4.34. Parametri boje korena celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_2

Tabela 4.35. Parametri boje lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_1

Tabela 4.36. Parametri boje lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_2

Tabela 4.37. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* , b^* prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 (zbir kvadarta razlika)

Tabela 4.38. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

Tabela 4.39. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 (zbir kvadarta razlika)

Tabela 4.40. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

Tabela 4.41. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadarta razlika)

Tabela 4.42. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

Tabela 4.43. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 (zbir kvadarta razlika)

Tabela 4.44. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

Tabela 4.45. SS vrednosti za uzorke korena i lista celera, tretirane u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 , u zavisnosti od vremena i temperature procesa

Spisak slika

Slika 2.1. Struktura biljne ćelije (www.yellowtang.org)

Slika 2.2. Struktura korena (http://www.biologyjunction.com/plant_structure_bi1.htm)

Slika 2.3. Struktura lista (Wahab i Ismail, 2012)

Slika 2.4. Pojednostavljena šema procesa osmotske dehidracije bilnog tkiva (Urle i Schubert, 2001)

Slika 2.5. Ćelije epidermisa lista lukovice crnog luka, *Allium cepa* (Jančić, 2004)

- a) ćelije u turgescentnom stanju,
- b) ćelije u plazmaliziranom stanju

Slika 2.6. Šematski prikaz promena u ćelijama bilnog tkiva nastalih usled prenosa mase tokom osmotske dehidracije (Agneli i sar., 2005)

Slika 4.1. Promena gubitka vode u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.2. Promena priraštaja suve materije u zavisnosti od temperature i vremena procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.3. Promena sadržaja suve materije u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.4. Promena aktivnosti vode u zavisnosti od temperature i vremena procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.5. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko FRAP vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.6. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko ABTS vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.7. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko DPPH vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.8. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko HPMC vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.9. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko MRAP vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.10. Promena ukupnog sadržaja fenola izražena preko FC vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.11. Promena svetloće tkiva (L^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.12. Promena udela zelene/crvene boje (a^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,

d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.13. Promena udela žute/plave boje (b^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.14. Promena sadržaja K u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.15. Promena sadržaja Mg u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.16. Promena sadržaja Ca u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,
- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.17. Promena sadržaja Fe u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana:

- a) korena celera u rastvoru R_1 ,
- b) korena celera u rastvoru R_2 ,

- c) lista celera u rastvoru R_1 ,
- d) lista celera u rastvoru R_2 .

Slika 4.18. Biplot grafik koji prikazuje promene vrednosti kinetičkih parametara i mineralnog sastava uzoraka korena (a) i lista (b) celera tokom osmotskog tretmana u rastvorima R_1 i R_2

Slika 4.19. Biplot grafik koji prikazuje promene vrednosti antioksidativne aktivnosti i boje uzoraka korena (a) i lista (b) celera tokom procesa OT u rastvorima R_1 i R_2

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PREGLED LITERATURE.....	4
2.1. Celer kao sirovina za osmotski tretman	4
2.1.1. Antioksidativna aktivnost celera	5
2.1.2. Struktura biljnog tkiva	6
2.1.3. Slobodna i vezana voda	12
2.1.4. Aktivnost vode.....	14
2.2. Osmotska dehidracija	16
2.2.1. Osmotski pritisak.....	18
2.2.2. Putevi prenosa mase tokom osmotske dehidracije	20
2.2.3. Prenos mase tokom osmotske dehidracije	22
2.2.4. Faktori koji utiču na proces osmotske dehidracije	24
2.2.4.1. Vrsta i stepen zrelosti materijala.....	24
2.2.4.2. Oblik i veličina materijala.....	25
2.2.4.3. Vrsta predtretmana.....	25
2.2.4.4. Vreme trajanja procesa	25
2.2.4.5. Temperatura osmotskog rastvora.....	26
2.2.4.6. Koncentracija osmotskog rastvora.....	27
2.2.4.7. Vrsta osmotskog agensa.....	27
2.2.4.8. Karakteristike rastvorka	28
2.2.4.9. Mešanje osmotskog rastvora.....	28
2.2.4.10. Odnos osmotski rastvor/materijal	28
2.2.4.11. Radni pritisak	29
2.2.5. Melasa šećerne repe.....	29
2.2.5.1. Upotreba melase šećerne repe.....	31
2.2.5.2. Antioksidativni potencijal melase šećerne repe.....	31
2.2.6. Uticaj osmotske dehidracije na karakteristike kvaliteta tretiranog biljnog materijala	34

2.2.6.1. Uticaj osmotske dehidracije na boju	35
2.2.6.2. Uticaj osmotske dehidracije na antioksidativnu aktivnost.....	36
3.1. Materijal	38
3.2. Eksperimentalni postupak osmotske dehidracije	39
3.3. Kinetika osmotskog tretmana korena i lista celera.....	41
3.4. Metode određivanja a_w vrednosti	42
3.5. Metode mikrobioloških analiza.....	42
3.6. Određivanje antioksidativne aktivnosti.....	43
3.6.1. Priprema ekstrakata za određivanje antioksidativne aktivnosti.....	43
3.6.2. Određivanje sadržaja ukupnih fenola metodom Folin–Ciocalteu (FC).....	43
3.6.3. Određivanje ukupne redukujuće moći FRAP metodom.....	44
3.6.4. Određivanje sposobnosti neutralizacije ABTS radikala (TEAC metoda).....	45
3.6.5. Određivanje sposobnosti neutralizacije DPPH radikala	46
3.6.6. DC polarografsko merenje antioksidativne aktivnosti	47
3.7. Metoda određivanja dominantnih kolornih koordinata $L^*a^*b^*$ uzorka.....	48
3.8. Metode analize sadržaja mineralnih materija.....	48
3.9. Statistička obrada podataka	49
3.9.1. Deskriptivna statistika	49
3.9.2. Metoda odzivnih površina (RSM - Response Surface Methodology).....	50
3.9.3. Analiza glavnih komponenti (PCA- Principal Components Analysis)	52
3.9.4. Određivanje normalizovanih standardnih ocena	53
4. REZULTATI I DISKUSIJA	57
4.1. Uticaj procesnih parametara na kinetiku procesa, sadžaj suve materije i aktivnost vode osmotski tretiranog korena i lista celera.....	57
4.1.1. Gubitak vode (WL).....	61
4.1.2. Priraštaj suve materije (SG).....	66
4.1.3. Sadržaj suve materije (DM).....	71
4.1.4. Aktivnost vode (a_w)	75
4.1.5. Matematički modeli odziva WL, SG, DM i a_w tokom osmotskog tretmana korena i lista celera	80
4.1.5.1. Model osmotskog tretmana korena celera u rastvorima R_1 i R_2	81

4.1.5.2. Model osmotskog tretmana lista celera u rastvorima R_1 i R_2	87
4.2. Mikrobiološka analiza osmotski tretiranog korena i lista celera.....	91
4.2.1. Određivanje Salmonella spp.....	95
4.2.2. Određivanje ukupnog broja kvasaca i plesni.....	96
4.2.3. Određivanje Enterobacteriaceae	97
4.2.4. Određivanje Escherichia coli.....	98
4.3. Uticaj procesnih parametara na ukupni antioksidativni potencijal i sadržaj fenola osmotski tretiranog korena i lista celera	98
4.3.1. Promena antioksidativnog potencijala korena celera tokom osmotskog tretmana....	104
4.3.2. Promena antioksidativnog potencijala lista celera tokom osmotskog tretmana	107
4.3.3. Zavisnost parametara antioksidativnog potencijala od parametara procesa tokom osmotskog tretmana.....	109
4.3.4. Promena sadržaja ukupnih fenola tokom osmotskog tretmana korena i lista celera .	115
4.3.5. Matematički modeli odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena i lista celera.....	119
4.4. Uticaj procesnih parametara na promenu boje korena i lista celera tokom osmotskog tretmana.....	127
4.4.1. Promena boje tkiva korena celera tokom osmotskog tretmana	130
4.4.2. Promena boje tkiva lista celera tokom osmotskog tretmana	132
4.4.3. Zavisnost kolornih parametara L^* , a^* , b^* od parametara procesa tokom osmotskog tretmana	135
4.4.4. Matematički modeli odziva L^* , a^* , b^* tokom osmotskog tretmana korena i lista celera	139
4.5. Uticaj procesnih parametara na mineralni sastav korena i lista celera tokom osmotskog tretmana.....	147
4.5.1. Promena sadržaja K tokom osmotskog tretmana korena i lista celera	148
4.5.2. Promena sadržaja Mg tokom osmotskog tretmana korena i lista celera.....	149
4.5.3. Promena sadržaja Ca tokom osmotskog tretmana korena i lista celera.....	151
4.5.4. Promena sadržaja Fe tokom osmotskog tretmana korena i lista celera	153
4.6. Analiza glavnih komponenti (PCA).....	155
4.7. Standardna ocena (SS)	161
5. ZAKLJUČAK.....	163

6. LITERATURA 167

1. UVOD

Savremeni trendovi u prehrambenoj industriji usmereni su na očuvanje mikrobiološke stabilnosti i kvaliteta proizvoda, ali istovremeno i na obogaćivanje proizvoda, u cilju poboljšanja njegovog nutritivnog profila i fiziološke funkcionalnosti. Postavljena je tendencija da se odgovori na sve veće zahteve tržišta za novom, funkcionalnom hranom, pre svega u smislu povećanja hranljivih materija i biološki aktivnih komponenata, koje mogu imati pozitivan uticaj na zdravlje ljudi. Sa druge strane poželjno je postići maksimalnu ekološku prihvatljivost proizvodnog procesa, uz što veću redukciju procesnog otpada, maksimalnu ekonomsku izvodljivost i minimalnu potrošnju energije. Osmotskom dehidratacijom prehrambenih sirovina, prvenstveno u melasi šećerne repe, daje se pozitivan odgovor na ove zahteve i ciljeve.

U cilju povećanja održivosti većina poznatih metoda sušenja daje zadovoljavajuće rezultate, ali svaka od njih uključuje opasnost od eventualnih nutritivnih gubitaka, pogoršanja teksture i narušavanja boje i arome osušenog proizvoda. Kako bi se izbegle nepoželjne promene i dobio proizvod minimalno tretiran i izmenjen u odnosu na početni kvalitet, primenjuje se metoda osmotskog sušenja. Proces osmotske dehidratacije ne zahteva visoke radne temperature, što je pogodno kako sa aspekta uštede energije, tako i u pogledu smanjenja negativnog uticaja na senzorski i nutritivni kvalitet proizvoda. Superiornost ovog procesa u odnosu na druge metode sušenja, ogleda se i u tome što voda koja se uklanja tokom procesa ne menja agregatno stanje, te nije potrebna dodatna energija za fazni prelaz. Takođe, zbog konstantne potopljenosti materijala koji se suši u osmotski rastvor, nije neophodna upotreba antioksidanata, koji sprečavaju oksidativne i enzimatske promene tokom procesa.

Osmotskim tretiranjem materijala (voće, povrće, meso, začinsko bilje) dobija se dehidrirani poluproizvod, povećane mikrobiološke stabilnosti i poboljšanih nutritivnih svojstava. Tokom osmotskog tretmana namirnica se postavlja u direktan kontakt sa odgovarajućim hipertoničnim rastvorom, pri čemu razlika u njihovim osmotskim pritiscima, predstavlja pogonsku silu za transport materije. Dominantan maseni tok je difuzija vode iz tkiva namirnice u okolni rastvor, a praćen je suprotnim masenim tokom, difuzijom rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u tkivo. Istovremeno, u rastvor prelaze i rastvorene supstance iz namirnice, ali je ovaj maseni tok kvantitativno zanemarljiv u odnosu na prethodna dva.

Osmotski rastvor u najvećoj meri utiče, kako u kvantitativnom tako i u kvalitativnom smislu, na transport materije tokom tretmana, i na taj način određuje finalne senzorne osobine i kvalitet dehidriranog proizvoda. Nakon osmotskog tretmana, dobija se delimično osušen proizvod, obogaćen nutritivnim komponentama iz upotrebljenog rastvora. Zbog toga je odabir osmotskog rastvora veoma važan i trebalo bi da zavisi od očekivanog stepena dehidratacije i željenih senzornih i nutritivnih osobina dehidriranog proizvoda. Za razliku od uobičajenih osmotskih rastvora koji se primenjuju prilikom osmotskog sušenja hrane (kao što je zasićeni vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida), melasa šećerne repe predstavlja kvalitetan polikomponentni sistem, sa visokim sadržajem šećernih komponenti, belančevina i drugih aktivnih azotnih jedinjenja (purinskih baza, pirimidina, nukleozida), organskih kiselina, betaina, mineralnih komponenti i vitamina. Visok sadržaj suve materije u melasi (preko 80%) omogućava visok potencijal transfera materije tokom osmotskog procesa, a samim tim efikasno sušenje i usvajanje nutritivno vrednih supstanci iz melase, u funkciji dobijanja stabilnog i kvalitetnog proizvoda, poboljšanog mineralnog sastava. Kao dobar izvor prirodnih antioksidanata (fenolnih jedinjenja, melanoidina, betaina i holina), melasa šećerne repe poseduje značajan antioksidativni potencijal, pa može pozitivno da utiče na ukupnu antioksidativnost osmotski dehidriranog proizvoda.

Takođe, melasa je nusprodukt industrije šećera, a primenom u procesu osmotskog tretmana dobija upotrebnu vrednost, što je značajno sa ekološkog stanovišta. I u pogledu redukcije procesnog otpada njena upotreba ima opravdanje, jer se kao efikasan osmotski rastvor može koristiti više puta. Melasa šećerne repe je jeftina sirovina, uvek dostupna u velikim količinama, a kao osmotski rastvor koristi se bez prethodne pripreme, te doprinosi uštedi troškova, vremena i energije.

Celer (*Apium graveolens*), kao povrtarska i začinska biljka, zauzima važno mesto u ishrani ljudi, a pripisuju mu se i brojna lekovita svojstva. Predstavlja odličan izvor minerala, vitamina, pigmenata, prehrambenih vlakana, etarskih ulja i fenola koji doprinose njegovom prehrambenom i farmakološkom značaju. Pored toga što kao začim može da poboljša ukus hrane, zbog svojih izraženih antioksidativnih svojstava celer ima potencijalnu ulogu u povećanju stabilnosti i funkcionalnosti hrane u koju se dodaje. Dokazano je da neka fenolna jedinjenja koja se nalaze u celeru mogu da uspore proces lipidne oksidacije, koja je glavni uzročnik hemijskog kvarenja hrane. Uopšteno, hrana bogata antioksidantima ima esencijalnu ulogu u prevenciji

kardiovaskularnih bolesti, kancera, neurodegerativnih bolesti, kao i mnogih drugih problema koje mogu izazvati slobodni radikali u organizmu.

Usled visokog sadržaja vode, celer je podložan relativno brzom mikrobiološkom i enzimskom delovanju, koje uzrokuje pogoršanje nutritivnih i senzornih svojstava, pa se ne može dugo čuvati u svežem stanju. Da bi se održala fizička, hemijska i mikrobiološka stabilnost celera, neophodno je pristupiti nekom vidu konzervisanja. Osmotskom dehidratacijom celera dobija se dehidrirani proizvod, produžene održivosti, poboljšanih nutritivnih svojstava i pogodnih karakteristika za dalju tehnološku obradu ili primenu u nekoj od grana prehrambene industrije. Obzirom da literarnih podataka o osmotskom tretiranju celera u melasi nema, ovim postupkom uvodi se novi pristup sušenju celera, sa akcentom na poboljšanju njegove hranljive vrednosti i antioksidativne aktivnosti.

Istraživanje u okviru ove doktorske disertacije se bazira na osmotskom tretmanu korena i lista celera u rastvorima saharoze i natrijum hlorida i melase šećerne repe i poređenju uticaja ovih rastvora na održivost, nutritivni kvalitet i senzorna svojstva osmotski tretiranih uzoraka. Polazna tačka je ispitivanje mogućnosti da se postupkom osmotske dehidratacije nutritivno obogati, poboljša mikrobiološka stabilnost i očuva ili poveća antioksidativnost korena i lista celera. Parametri kvaliteta i održivosti obuhvaćeni istraživanjem su: gubitak vode, prirast suve materije, povećanje sadržaja suve materije, sniženje a_w vrednosti, mikrobiološka ispravnost, promena antioksidativne aktivnosti i sadržaja ukupnih fenola, promena boje i sadržaj mineralnih materija, u uzorcima korena i lista celera. Na osnovu ovih parametara omogućeno je sagledavanje uticaja osmotskog tretmana na mikrobiološka, nutritivna, hemijska i antioksidativna svojstva celera, a time i karakterizacija dobijenog poluproizvoda. Cilj istraživanja je optimizacija ispitivanih uslova procesa (temperatura, vreme trajanja procesa i priroda osmotskih rastvora), kako bi se dobio proizvod produžene održivosti, visoke nutritivne vrednosti i antioksidativnosti.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. Celer kao sirovina za osmotski tretman

Celer (*Apium graveolens* L.), od davnina zauzima značajno mesto u ishrani ljudi, kao izuzetno zdravo povrće i začim. Ova dvogodišnja zeljasta biljka pripada porodici *Apiacea*, a kao jednogodišnja se gaji zbog korena, celer korenaš (var. *rapaceum*), zadebljale lisne drške, celer rebraš (var. *dulce*), ili lista, celer lišćar (var. *secalinum*), dok se u drugoj godini dobija plod. U našoj zemlji se najviše proizvodi i koristi u ishrani celer korenaš (var. *rapaceum*), jer osim zadebljalog korena, prinos čine i listovi. Neke od sorti korenastog celera koje se najčešće gaje su: „magdenburški“, „alabaster“, „praški orijaš“, „delikates“ i drugi (Guerra i sar., 2001; Đurovka, 2008).

Celer je značajna povrtarska, začinska i lekovita biljka, bogata etarskim uljem koje mu daje karakterističnu aromu. Prisustvo esencijalnih ulja i aromatičnih supstanci daje čitavoj biljci specifičan ukus i intenzivan miris. Dve vrste ftalida, sedanolid i 3–n–butilftalid su glavne komponente etarskog ulja korena celera, i oni su zaslužni za njegov tipičan miris. Karakteristična aroma listova celera potiče uglavnom od prisutnih terpena i seskviterpena. Dominantne komponente etarskog ulja listova celera su terpeni mircen i limonen (Jung i sar., 2012; Aćimović i sar., 2015). Dokazano je da komponenta etarskog ulja korena i lista celera, apiol, doprinosi diuretičkom dejstvu celera (Kooti i sar., 2015).

Pored toga što kao začim može da poboljša ukus hrane, ustanovljeno je da celer ima veliki farmakološki potencijal i mogućnost primene kao dijetetski suplement, funkcionalna hrana i alternativna lekovita supstanca. Poznat je kao niskokalorična, ali nutritivno visoko vredna namirnica jer u svom sastavu sadži lako svarljive ugljene hidrate, proteine, masti i obilje korisnih prehrambenih vlakana (Ježek i sar., 2008; Ponjičan i sar., 2013). Lekovita svojstva se celeru pripisuju ne samo zbog toga što predstavlja odličan izvor minerala, već sadrži i značajne vitamine i pigmente kao što su folna kiselina, niacin, inozitol, vitamin C, β-karoten, hlorofil. Celer je bogat mineralima neophodnim za normalno funkcionisanje ljudskog organizma kao što su magnezijum, gvožđe, kalcijum, natrijum, zink, fosfor (Li i sar., 2014). Jednu trećinu svih minerala u celeru čini kalijum, koji podstiče izlučivanje tečnosti iz organizma i utiče na snižavanje krvnog pritiska (Kooti i sar., 2015). Od vitamina, u celeru je najviše zastupljen vitamin C, za koji je poznato da jača imuni sistem, a kreće se u rasponu od 6-8,3mg/100g (Souci, 2000).

U poslednje vreme izraženo je interesovanje za celer, jer su brojne studije dokazale njegovu antiinflamatornu, antimikrobnu i antikancerogenu aktivnost kao i značajne zdravstvene benefite koji se postižu njegovom konzumacijom (Han i Row, 2011; Tyagi i sar., 2013). Terapeutska svojstva celera

odnose se na lečenje artritisa i bubrežnih bolesti, bolesti disajnih puteva, regulaciju krvnog pritiska, nivoa glukoze i holesterola u krvi, kao i hepatoprotektivno delovanje. U tradicionalnoj medicini, celer je poznat kao diuretik, urinarni antiseptik i sedativ (Kolarović i sar., 2010; Yao i sar., 2010).

Usled visokog sadržaja vode (i do 90%), celer je podložan relativno brzom mikrobiološkom kvarenju, pa se ne može dugo čuvati u svežem stanju. Da bi se održala fizička, hemijska i mikrobiološka stabilnost celera, neophodno je pristupiti nekom vidu konzervisanja (Prakash i sar., 2000).

Konvencionalne metode sušenja mogu negativno da se odraze na finalni nutritivni kvalitet i organoleptička svojstva osušene namirnice. Tokom konvektivnog sušenja, koje se najčešće primenjuje, povrće se izlaže delovanju kiseonika i visoke temperature, što dovodi do promene ukusa, boje, teksture i ireverzibilnog oštećenja termolabilnih komponenata biljnog materijala (Ratti i Mujumdar., 2005). Kao pogodan metod za konzervisanje povrća, uz istovremeno očuvanje polaznih nutritivnih i senzorskih karakteristika, nameće se proces osmotske dehidracije (Koprivica, 2013).

2.1.1. Antioksidativna aktivnost celera

Zahvaljujući prisustvu mnogobrojnih bioaktivnih supstanci, celer poseduje izraženu antioksidativnu aktivnost (Yao i sar., 2010). Brojne studije potvrđuju da većina vitamina i pigmenata, prisutnih u celeru, imaju antioksidativna svojstva (Jung i sar., 2012). U poslednje vreme, dijetnim vlaknima se pored poznate fiziološke funkcije pripisuju funkcionalna svojstva i uloga u zaštiti organizma od degenerativnih bolesti uzrokovanih oksidativnim stresom (Filipčev, 2009; Alshubiani, 2013). Zbog toga se može smatrati da i dijetna vlakna kojima celer obiluje doprinose njegovom ukupnom antioksidativnom potencijalu (Yao i Ren, 2011).

Ipak, bioaktivne supstance koje su najviše odgovorne za izraženu antioksidativnu aktivnost celera su fenolna jedinjenja. Celer je poznat kao bogat izvor fenola, zbog čega je podjednako je izražen interes, kako prehrambene industrije, tako i nauke za ovu namirnicu (Han i Row, 2011; Li i sar., 2014).

Mnoga istraživanja potvrdila su da hrana bogata fenolnim supstancama ima esencijalnu ulogu u prevenciji kardiovaskularnih bolesti, kancera, neurodegenerativnih bolesti, kao i mnogih drugih problema koje mogu izazvati slobodni radikali u organizmu (Popović i sar., 2006; Kolarović i sar., 2010). Slobodni radikali su toksični i mogu da ispoljavaju mutagene efekte na sve tipove ćelija, putem oksidacije DNK ili membranskih lipida i proteina. Fenoli poseduju sposobnost neutralisanja slobodnih radikala i na taj način umanjuju rizik od bolesti koje su posledica oksidativnog stresa (Jung i sar., 2012; Li i sar., 2014).

Tipična fenolna jedinjenja u celeru spadaju u grupe flavonoida, fenolnih kiselina, furokumarina, tanina. Dominantni flavonoidi u celeru su apigenin, luteolin, kamferol i kvercetin. Fenolne kiseline koje

su najzastupljenije u celeru su kumarinska, ferulna, kafena, hlorogenska, cimetna, katehinska i vanilinska kiselina. U glavne furokumarine u celeru spadaju: psoralen, bergapten i ksantoksin. Pored toga što se bore protiv slobodnih radikala i čuvaju ćelije od oštećenja koja mogu da dovedu do kancerogenih promena, furokumarini celera takođe jačaju aktivnost belih krvnih zrnaca (Yao i sar., 2010; Jung i sar., 2012) .

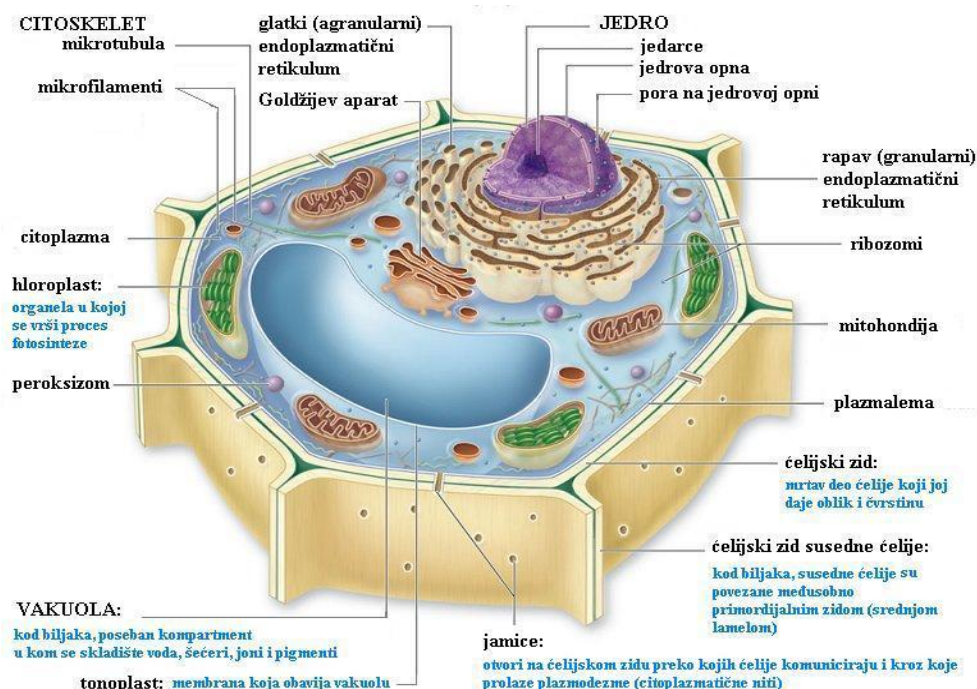
Peroksidacija lipida putem lančanih reakcija slobodnih radikala rezultuje stvaranjem hidroperoksida, ketona, aldehida i kiselina tj. pojavom užglosti. Ova pojava vodi pogoršanju nutritivnog kvaliteta, boje, mirisa, ukusa, teksture i stabilnosti hrane (Mišan i sar., 2011). U biološkim sistemima lipidna peroksidacija se povezuje i sa nastankom brojnih patoloških bolesti. Smatra se da su slobodni radikali koji nastaju tokom lipidne peroksidacije (ROO^{\bullet} , RO^{\bullet}) u najvećoj meri odgovorni za oštećenja i starenje ćelija (Yao i sar., 2010). Uloga fenolnih jedinjenja u stabilizaciji lipida protiv peroksidacije i inhibiciji različitih tipova oksidativnih enzima je značajna. Dokazano je da neka fenolna jedinjenja koja se nalaze u celeru mogu da uspore proces lipidne peroksidacije, koja je glavni uzročnik hemijskog kvarenja hrane (Alshubiani i sar., 2013; Kooti i sar. 2015). Zbog toga celer ima potencijalnu ulogu u povećanju stabilnosti i funkcionalnosti hrane u koju se dodaje.

Takođe, celer kao odličan izvor prirodnih antioksidanata može potencijalno da redukuje primenu sintetičkih antioksidanasa u hrani (Jung i sar., 2012). Neka istraživanja su pokazala da sintetički antioksidansi koji se uobičajeno koriste kako bi se sprečilo kvarenje hrane, kao što su butilhidroksianizol (BHA) i butilhidroksitoluen (BHT) imaju toksične efekte zbog čega se smatraju potencijalnim kancerogenima. Iz tog razloga, rastu zahtevi potrošača za hranom koja ne sadrži ove štetne materije, što daje podsticaj da se istražuju i pronalaze izvori prirodnih antioksidanasa, koji bi zamenili sintetičke (Mišan i sar., 2011).

2.1.2. Struktura biljnog tkiva

Proučavanje procesa osmotske dehidracije biljnog tkiva, a samim tim i procesa prenosa materije u biljnim tkivima zahteva poznavanje strukture biljnog tkiva (Babić, 1989).

Biljno tkivo je skup međusobno povezanih ćelija koje imaju isto poreklo, oblik, građu i obavljaju istu funkciju. Osnovni strukturni element koji učestvuje u izgradnji biljnog tkiva je biljna ćelija. U potpuno razvijenoj biljnoj ćeliji razlikuju se tri osnovna dela (slika 2.1.): ćelijski zid, protoplast - živi deo ćelije i vakuola koja je ispunjena ćelijskim sokom (Moshsein, 1980).



Slika 2.1. Struktura biljne ćelije (www.yellowtang.org)

Ćelijski zid je neživi deo ćelije koji ograničava dimenzije protoplasta, sprečava njegovo razaranje usled povećanja vakuole, daje ćeliji potrebnu čvrstinu i oblik. Uključen je u mehanizme transporta, apsorpcije i sekrecije, i predstavlja barijeru potencijalnim patogenima iz okolne sredine. On se sastoji od tankog primarnog i zadebljalog sekundarnog zida. Između primarnih zidova susednih ćelija nalazi se srednja lamela koja spaja dve ćelije i sastoji se većinom od pektinskih materija (Šerban, 2001). Srednja lamela održava tkivo u jedinstvenoj celini.

Kompleksnu strukturu ćelijskog zida čini mreža celuloznih mikrofibrila ugrađenih u matriks. Matriks predstavlja osnovnu masu ćelijskog zida, veoma je bogat vodom, i sastoji se iz pektina, hemiceluloze i glikoproteina. Celulozni mikrofibrili tj. umreženi snopići celuloznih lanaca, čiji dijametri u zavisnosti od vrste tkiva variraju u opsegu od 2-10nm, u najvećoj meri određuju teksturu ćelijskog zida. U primarnom sloju ćelijskog zida tekstura je nepravilna, pošto

su mikrofibrili nepravilno isprepleteni u svim pravcima. U sekundarnom sloju ćelijskog zida celulozni mikrofibrili su uglavnom mnogo gušće i paralelno poređani.

Tekstura ćelijskog zida je porozna i veličina poprečnog preseka pora koje se nalaze između mikrofibrila je oko 10 nm (Lauchli, 1976). Kroz pore ćelijskog zida omogućen je transport molekula vode, kao i molekula male molekulske mase u ćeliju i iz ćelije. Pored pora, u ćelijskom zidu postoje i perforacije koje omogućavaju kontakt i razmenu materija između protoplasta susednih ćelija. To su intercelularni kanali koji prolaze kroz srednju lamelu ćelijskog zida i povezuju dve susedne ćelije tzv. plazmodezme (Thimm i sar, 2000; Lewicki i Lenart, 2006).

Protoplast se sastoji od dva osnovna dela: citoplazme i jedra. Citoplazma obuhvata čitav živi sadržaj ćelije izvan jedra. Predstavlja koloidni rastvor proteina i lipida u vodi u kom se nalaze organele (plastidi, mitohondrije, vakuola, ribozomi) i membranski sistemi. Citoplazma je odvojena od ćelijskog zida ćelijskom membranom - plazmalemom. Plazmalema je polupropustljiva biološka membrana koja odvaja živi deo ćelije od okolne sredine. Pored toga, plazmalema obavlja i pojedine organele unutar ćelije. Ovu tanku opnu čini proteinsko lipidni kompleks, debljine 7,5 – 10 nm, propustljiv za molekule vode, a selektivno propustljiv za druge supstance. Plazmalema učestvuje u razmeni materija između ćelije i sredine koja je okružuje, ima receptorsku i osmoregulatornu ulogu (Nason i Dehaan, 1973). Osnovna komponenta su joj lipidi (40%), proteini (59%) i ugljeni hidrati (1%). Lipidi obrazuju fleksibilan, neprekidan, hidrofoban dvostruki sloj. Plazmalema se odlikuje velikom propustljivošću za molekule vode. U lipidnom sloju plazmaleme nalaze se molekularne pore prečnika 0,4 nm koje omogućuju prolazak molekula vode kroz lipidni sloj. Sloj fosfolipida sprečava aminokiseline, proteine, ugljene hidrate i druge u vodi rastvorljive supstance da izađu iz ćelije, s jedne strane, a sa druge da uđu u ćeliju. Transport tih supstanci odvija se preko proteinskih struktura ugrađenih u dvostruki sloj lipida (proteinske pumpe i kanali) (Kojić i Pekić, 1998; Kastori, 1998; Jančić, 2004).

Membranski sistemi biljne ćelije imaju značajnu ulogu u transportu vode i drugih materija unutar ćelije, između ćelija i između ćelija i sredine koja ih okružuje. Prostori između ćelija, između ćelijskih zidova, kao i između protoplasta i ćelijskih zidova međusobno su povezani u jedinstven prostor – apoplast. Apoplast funkcioniše kao serija kanala i prostora kroz koje se brzo i lako provodi voda i druge materije unutar tkiva. Neposedni fizički kontakt između

protoplasta ćelija je nemoguć, jer se ćelije naslanjaju jedna na drugu svojim ćelijskim zidovima (Kojić i Pekić, 1998; Kastori, 1998; Jančić, 2004). Ipak, fizička veza između susednih protoplasta postoji, jer su povezani plazmodezmama odnosno citoplazmatičnim kanalima u ćelijskom zidu. To su otvori duž ćelijskog zida kroz koje prolaze cevčice cilindričnog oblika ispunjene protoplazmom. Plazmodezme su prečnika od 20-70 nm, a njihova specifična dodirna površina se procenjuje na $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ ćelijskog zida. Zahvaljujući njima protoplasti biljnih ćelija su međusobno povezani čineći jednu funkcionalnu celinu – simplast. Plazmodezme obezbeđuju efikasan transport molekula vode, šećera i aminokiselina od ćelije do ćelije dok veliki molekuli (proteini) i organele ne mogu da se prenesu na ovaj način. Na osnovu navedenog može se zaključiti da plazmodezme imaju ključnu ulogu u prenosu materija i signala između ćelija (Spanswick, 1976).

Vakuola biljne ćelije je ograničena jednostrukom membranom – tonoplastom, i ispunjena je ćelijskim sokom. Tonoplast je sličan plazmalemi, ali nešto tanji, debljine oko 8 nm. Transportni sistemi u tonoplastu obezbeđuju razmenu materija između vakuole i citoplazme. Tonoplast zadržava svoju selektivnu propustljivost i nakon izumiranja citoplazme, dok se plazmalema odlikuje polupropusljivošću samo dok je protoplast živ. Vakuole sadrže oko 90% ukupne vode prisutne u ćeliji, te su važne tokom postupka dehidracije. Kod razvijene ćelije, najveći deo njene zapremine obuhvata vakuola, a citoplazma, kao tanka opna ispunjava prostor između vakuole i ćelijskog zida (Kojić i Pekić, 1998, Kastori, 1998). Povećanje ćelije je u suštini povećanje vakuole. Osnovni sastojak ćelijskog soka je voda, a ostale komponente variraju u zavisnosti od tipa i fiziološkog stanja ćelije. Vakuole su mesta skladištenja različitih metabolita: ugljenih hidrata, organskih kiselina i njihovih soli, zatim rezervi proteina, pigmenata, fitohormona (Lewicki i Lenart, 2006).

Oblik biljnih ćelija je veoma raznovrstan i zavisi pre svega od njihove funkcije. U osnovi oblik ćelija se može svesti na dva tipa: parenhimske ćelije (kojima su sve tri dimenzije – dužina, širina i visina približno jednake) i prozenhimske ćelije (kojima dužina više puta prevazilazi širinu, te imaju izdužen oblik (Kojić i Pekić, 1998; Wills i sar., 2007). Dimenzije ćelija kreću se u rasponu od 10 do 100 μm i u zavisnosti od funkcije su gušće ili ređe pakovane u tkiva. Tkivo čini grupa ćelija specijalizovanih da obavljaju određenu funkciju. Vrste tkiva se razlikuju po funkciji, po obliku, sadržaju i svojstvima membrana ćelija od kojih su izgrađene. Tkiva su izgrađena od ćelija zbijenih jedna uz drugu. Između ćelija nalaze se manje ili veće šupljine,

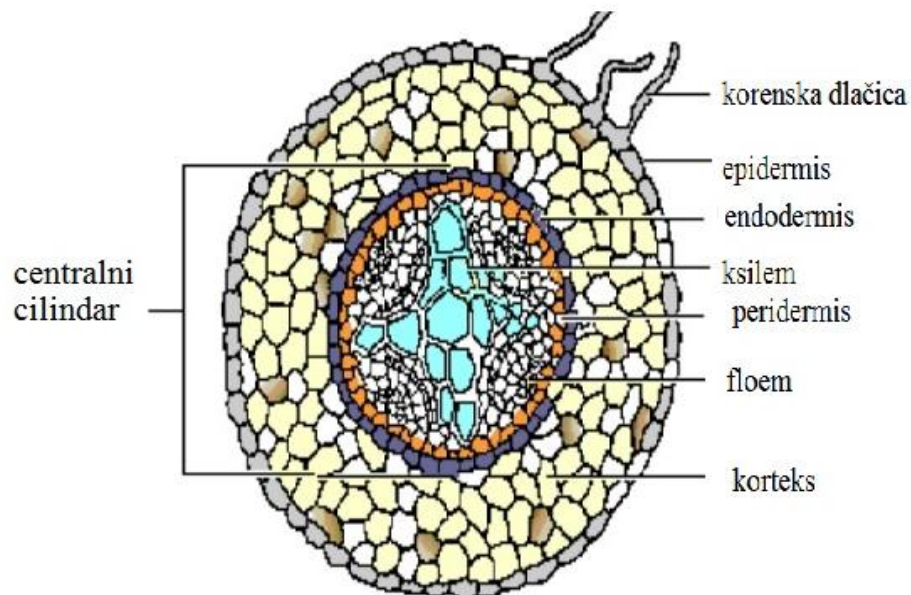
međucelijski prostor ili intercelulari. Tokom razvića ćelija intercelulari se uvećavaju i spajaju među sobom, te grade sistem kanala – mikro i makro kapilara. Pomoću specifičnih otvora sistem mikro i makro kapilara je u vezi sa spoljašnjom sredinom. Mikro i makro kapilare su ispunjene vazduhom ili vodom ili služe kao rezervoari produkata metabolizma (Kojić i Pekić, 1998).

Biljna tkiva se uopšteno mogu podeliti u tri osnovne grupe (Šerban, 2001; Shi i Le Maguer, 2003):

- Epidermalno tkivo – ima zaštitnu funkciju, gradi površinske slojeve i sastoji se od ćelija tankih zidova. Slojevi ovog tkiva štite biljku od suvišnog isparavanja, mehaničkih povreda i negativnih uticaja okoline.
- Parenhimsko tkivo – predstavlja esencijalni deo organa i služi za proizvodnju i čuvanje hranljivih materija. Sastoji se uglavnom od velikih ćelija, tankih zidova i velikih vakuola. Ćelije parenhimskog tkiva nisu gusto pakovane u tkivo, te se između njih obrazuje veliki međucelijski prostor. Zapremina međucelijskog prostora zavisi od vrste biljnog tkiva. Na primer, tkivo krompira ima svega 1-3 % međucelijskog prostora, dok kod šećerne repe 25% zapremine čine međucelijski prostor i ćelijski zidovi.
- Provodno tkivo – složeno biljno tkivo odgovorno za provođenje vode i mineralnih materija od korena ka ostalim delovima biljke i rastvorenih organskih materija iz listova u druge biljne delove. Sastoji se od ksilema i floema koji obrazuju provodne snopice. Ksilem obezbeđuje transport minerala i vode od korena do ostalih delova biljke, dok floem provodi rastvorene organske materije od mesta gde se stvaraju fotosintezom do svih delova biljke.

Osnovnu strukturu korena biljke čini spoljašnji sloj epidermis, unutrašnji endodermis i centralni cilindar u kom je smešteno provodno tkivo (ksilem i floem). Između tkiva epidermisa i endodermisa, smešten je parenhim za magacioniranje velike površine tzv. korteks koji je porozan i lako propušta vodu (slika 2.2.).

Poprečni presek korena

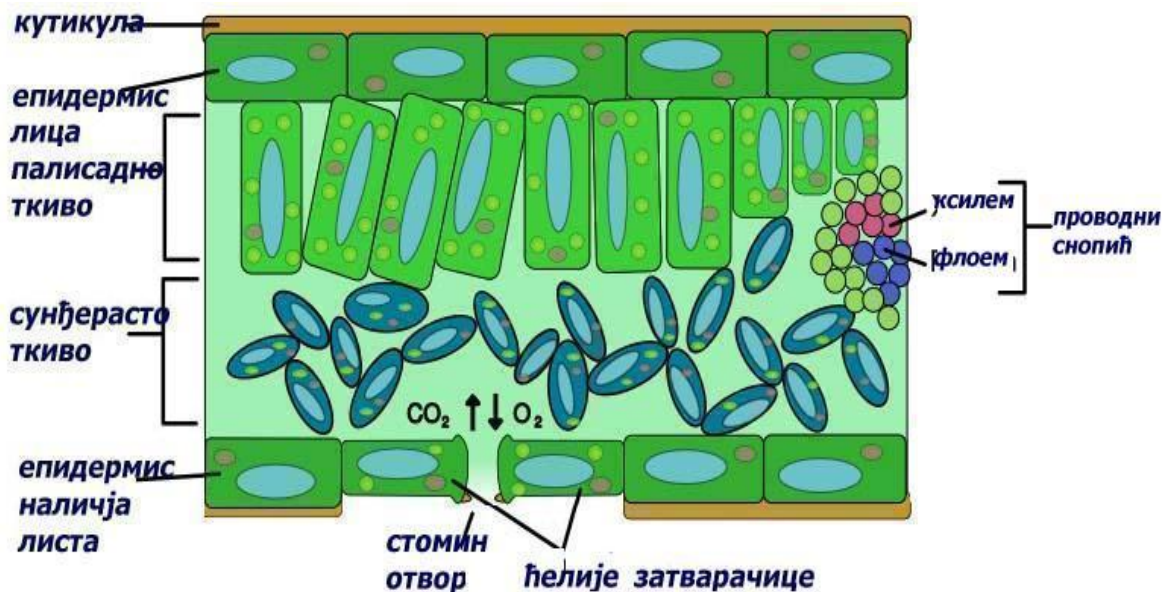


Slika 2.2. Struktura korena (http://www.biologyjunction.com/plant_structure_bi1.htm)

List je anatomski diferenciran na tri osnovna tkiva: površinsko (epidermis), fotosintetsko tzv. hlorenhim (palisadno i sunderasto tkivo) i provodno tkivo (ksilem i floem) (slika 2.3.). Čelije u sloju epidermisa su malih dimezija sa zadebljalim ćelijskim zidom – kutikulom, koja predstavlja zaštitnu barijeru isparavanju vode, ograničavajući insolaciju i prodor štetnih mikroorganizama. Na gornjem epidermisu (lice) lista kutikula je jače razvijena (deblja) i izgrađena je od više slojeva kutina - voštane supstance. Kutikula je slabo propustljiva za vodu i gasove, a njihov transport odvija se putem stominih otvora koji su uglavnom smešteni na donjem epidermisu (naličje lista). Hlorenhimsko tkivo sastavljeno je od dve vrste ćelija:

- 1) prema licu lista nalazi se palisadno tkivo, građeno od gusto zbijenih, izduženih ćelija,
- 2) prema naličju lista smešteno je sunderasto tkivo, građeno od ćelija nepravilnog oblika, između kojih se nalaze prostrani intercelulari.

Provodni snopići ksilema i floema granaju se na različite načine, stvarajući nervaturu lista (Shi i Maguer, 2003; Wahab i Ismail, 2012).



Slika 2.3. Struktura lista (Wahab i Ismail, 2012)

2.1.3. Slobodna i vezana voda

Voda je najzastupljenija komponenta biljnih materijala, čiji ukupni sadržaj može da se kreće i do 95%, u zavisnosti od sorte, stepena zrelosti i uslova gajenja biljke. Vodena sredina neophodna je za odvijanje fizioloških i metaboličkih procesa u biljkama, transport organskih i mineralnih materija, bubrenje koloida protoplazme i turgorski pritisak (čime osigurava biljci čvrstoću), a pored toga učestvuje i u brojnim biohemijskim reakcijama. S obzirom da ulazi u sastav ćelija, voda kao univerzalni rastvarač rastvara deo prisutne organske materije. Organska materija iz ćelija će difundovati i sa vodom činiti rastvore različitog sastava i koncentracije, zbog čega je porozna struktura biljnih tkiva popunjena rastvorima vode i organskih materija koji se ponašaju kao koloidi (Babić, 1989; Babić i sar., 2011).

U zavisnosti od načina na koji voda uspostavlja vezu sa unutrašnjom biljnom strukturom, zavise i njene fizičke karakteristike i lakoća uklanjanja. Voda se u biljci nalazi u dva osnovna oblika: u slobodnom i vezanom stanju (Juhas, 1987).

Slobodna voda predstavlja najveći deo ukupne vode u biljci, a smeštena je u intercelularnim prostorima i u provodnim elementima biljke. Kreće se od korena biljke, preko stabljike do lišća gde isparava (služi za hlađenje površinskih delova biljke i prenos hranljivih

materija). U slobodnoj vodi su rastvorena organska i neorganska jedinjenja, može da isparava na sobnoj temperaturi i da se ukloni mehaničkim putem. Naziva se i biološki aktivna voda jer mikroorganizmi mogu da koriste samo vodu u ovom stanju (Vereš, 2004; Figura i Teixeira, 2007).

Vezana voda je preko fizičko-hemijskih veza uključena u komponente koje čine suhu materiju biljke ili su molekuli vode vezani međusobno, te se ova voda ne može ponašati kao rastvarač. Vezana voda, po pravilu čini 4-7% ukupne vode u biljci. Klasifikacija vrsta vezane vode u biljnim materijalima uzima u obzir kako prirodu formiranja samih veza tako i energiju koju je potrebno uložiti da bi se odgovarajuća veza razgradila. Na osnovu ove klasifikacije razlikuju se tri forme vezane vode: hemijski vezana voda, fizičko-hemijski vezana voda i fizičko-mehanički vezana voda (Kessler, 2002; Babić i sar., 2011).

1. Hemijski vezana voda je sa suvom materijom povezana izuzetno jakim jonskim ili molekulskim silama. Zbog svoje polarnosti, molekuli vode preko hidroksilnih grupa vezani su jonskim vezama sa komponentama suve materije. Usled jačine veza između molekula vode i komponenata suve materije, može se smatrati da ova voda ulazi u hemijski sastav biljnog materijala i ne može se ukloniti poznatim tehnikama sušenja (Voronjec, 1979).

2. Fizičko-hemijski vezana voda pojavljuje se u dva oblika: adsorpciona i osmotski vezana voda. Adsorpciono vezanu vodu čini polimolekulski sloj vode na površini pora i kapilara ili je adsorpcionim silama vezana za koloide, tj. ulazi u sastav solvacionog sloja hidrofilnih koloida (belančevina, skroba, pektina...). Adsorpciono vezana voda uklanja se iz materijala prevođenjem u parnu fazu nakon čega se unutar materijala premešta u parnom stanju. U odnosu na hemijski vezanu vodu, ova voda je vezana silama slabijeg intenziteta. Osmotski vezana voda koja se nalazi u ćeliji, uslovljena je postojanjem polupropustljive ćelijske membrane i omogućava pojavu osmotskog pritiska. Odlikuje se slabom energije veze, a po svojstvima se ne razlikuje od slobodne vode. Osmotski vezana voda se u materijalu premešta u vidu tečnosti, putem difuzije kroz polupropustljive ćelijske zidove na isti način na koji je i prodrila u materijal (Voronjec, 1979; Modi, 2009).

3. Voda koja je fizičko-mehanički vezana sa strukturnim elementima biljke može da bude površinska i kapilarna voda. Fizičko-mehanički vezana voda najlakše se odstranjuje iz biljnog materijala. Energija veze između vode i materijala je najslabija kod površinske vode, a zatim kod kapilarne vode. Kapilarno vezana voda može se pojaviti u makrokapilarama (poluprečnik

kapilare veći od 10^{-7} m) i u mikrokapilarama (poluprečnik kapilare manji od 10^{-7} m). Uslov za formiranje kapilarne vode je postojanje polimolekularno adsorbovanog sloja vode na površini pora i kapilara. Molekuli vodene pare će u ovom slučaju biti privučeni od strane molekula vode u tečnoj fazi. Stvaranjem više slojeva vlage, poprečni presek kapilara postaje popunjen vodom u tečnoj fazi. Kapilarno vezana voda može biti upijena i kao rezultat sorpcije (kapilarne kondenzacije) vodene pare iz okolnog vazduha (Voronjec, 1979). Površinska voda nastaje kada se biljni materijal nađe u neposrednom kontaktu sa vodom u tečnoj fazi, jer će se tada molekuli vode prilepiti za površinu, ako su kapilare pune vode. Ima sve tipične karakteristike slobodne vode (Babić i sar., 2011).

Koji deo od ukupne vode u namirnici će biti u vezanom stanju, u velikoj meri je uslovljeno hemijskim sastavom suve materije. Svako jedinjenje ima različitu sposobnost vezivanja vode. Npr. proteini kojih ima najviše u protoplazmi i plazmalemi, vezuju 0,15 – 0,35 g vode po jednom gramu proteina (Vereš, 2004).

2.1.4. Aktivnost vode

U pogledu kvaliteta i stabilnosti namirnica biljnog porekla, od presudnog značaja je raspoloživa slobodna voda, a ne ukupna količina vode. Aktivnost vode (a_w) predstavlja odnos napona pare namirnice i napona pare čiste vode na istoj temperaturi i pri istom ukupnom pritisku:

$$a_w = p_w/p_{w_0}, \quad (2.1.)$$

gde je p_w – pritisak vodene pare iznad namirnice, a p_{w_0} – pritisak pare čiste vode. Voda u vezanom obliku ne učestvuje u formiranju napona vodene pare iznad namirnice, pa je a_w vrednost pokazatelj udela slobodne vode u namirnici. Vrednost aktivnosti vode se kreće između 0 i 1 (0 za potpuno suve materije, a 1 za čistu vodu) (Vereš, 2004; Figura i Teixeira, 2007).

Pored temperature, a_w vrednost se smatra najvažnijim parametrom u procesima prerade i konzervisanja hrane. Mikrobiološke, hemijske i fizičke osobine hrane, kao i specifične promene u senzornim osobinama (boji, aromi, ukusu i teksturi) u direktnoj su vezi sa a_w vrednošću. Vrednost aktivnosti vode je indikator dostupne vode za rast i metaboličku aktivnost mikroorganizama. Stoga predstavlja pogodan parametar pomoću kojeg se može kontrolisati rast i razvoj mikroorganizama, koji uzrokuju mikrobiološko kvarenje namirnice. Mikroorganizmi

opstaju pri različitim vrednostima a_w , dok ispod određene vrednosti njihova aktivnost prestaje (Chirife i Fontana, 2007; Silva i sar., 2008).

Pored uticaja na delovanje plesni, kvasaca i aktivnost bakterija, vrednost a_w utiče i na brzinu odvijanja raznih nepoželjnih hemijskih promena u hrani, kao što su: autooksidacija (masti), neenzimsko tamnjenje, enzimska aktivnost itd. Povišene vrednosti a_w izazivaju tamnjenje tkiva, oksidaciju lipida, oksidaciju vitamina, razgradnju proteina i razgradnju vlakana (Ratti i Mujumdar, 2005). Niže a_w vrednosti pozitivno se odražavaju na mikrobiološku i hemijsku stabilnost, a negativno na teksturu hrane (Figura i Teixeira, 2007).

Putem smanjivanja a_w vrednosti moguće je inhibirati mikrobiološki rast i enzimsku aktivnost. Zbog toga je poznavanje a_w vrednosti, pri kojoj prestaje rast mikroorganizama (granična a_w vrednost), značajno sa aspekta očuvanje hrane. Ispod granične a_w vrednosti mikroorganizmi ne rastu, ne formiraju spore, ili toksične metabolite. Na vrednost a_w utiču i drugi faktori kao što su temperatura, pH sredine (u kiseljoj sredini granična a_w vrednost je veća), parcijalnog pritiska kiseonika, prisustva hranljivih materija, sadržaja dodate soli i drugo (Kessler, 2002, Rahman, 2009).

Tabela 2.1. Minimalne a_w vrednosti za aktivan rast mikroorganizama (Rahman, 2009)

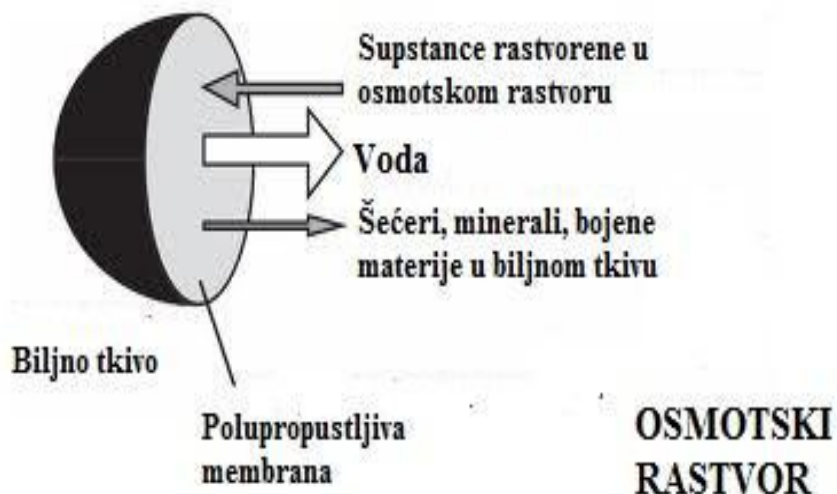
Grupa mikroorganizama	a_{wmin}
Većina bakterija izazivača kvarenja hrane	0,91
Većina kvasaca izazivača kvarenja hrane	0,88
Većina plesni izazivača kvarenja hrane	0,80
Halofilne bakterije	0,75
Kserofilne plesni	0,65
Osmofilni kvasci	0,60

Namirnice biljnog porekla čija vrednost aktivnosti vode iznosi 0,6 ili manje mogu da se smatraju mikrobiološki stabilnim što je tzv. granična vrednost ispod koje prestaje aktivnost mikroorganizama. Međutim, ukoliko enzimi nisu inaktivirani, oni mogu da menjaju kvalitet

namirnice i u onom opsegu aktivnosti vode pri kojoj mikroorganizmi ne pokazuju aktivnost. Potpuno dehidrirane namirnice, na primer, imaju a_w oko 0,3 da bi se onemogućio ne samo mikrobiološki rast nego i druge fizičko-hemijske i biohemijske reakcije štetne za boju, teksturu, ukus i hranljivu vrednost namirnica (Kessler, 2002; Modi, 2009). Snižavanje a_w vrednosti povrća može se postići sušenjem, ili dodatkom soli ili nekih jedinjenja koja vezuju deo slobodne vode (Vereš, 2004). Postupak osmotske dehidracije utiče na smanjenje sadržaja vode i a_w vrednosti u mrkvi, smanjujući količinu vode dostupnu mikroorganizmima (Mišljenović, 2012).

2.2. Osmotska dehidracija

Osmotska dehidracija kao metoda konzervisanja hrane je postupak delimičnog uklanjanja vode iz biljnog ili životinjskog tkiva. Uklanjanje vode se ostvaruje potapanjem materijala koji se dehidrira u rastvore visoke koncentracije i osmotskog pritiska, a niske a_w vrednosti, primenom blagog temperaturnog režima (Filipović i sar., 2012; Knežević i sar., 2013). Pogonska sila za osmotsko uklanjanje vode je koncentracioni gradijent uspostavljen na suprotnim stranama polupropustljive ćelijske membrane. Pošto je prisutna koncentraciona razlika, kako vode, tako i rastvorenih materija (rastvorka), javlja se obostrana težnja za difuzijom kroz polupropustljivu ćelijsku membranu, te se tokom osmotske dehidracije istovremeno odvijaju dva protivstrujna toka prenosa mase: voda iz potopljenog tkiva difunduje u okolni rastvor, dok rastvorak iz osmotskog medijuma prodire u površinske slojeve materijala koji se tretira (Rastogi i Raghavarao, 2004; Mišljenović i sar., 2012). S obzirom da ćelijska membrana nije savršeno selektivna, tokom procesa se odvija i treći tok prenosa mase koji podrazumeva difuziju materije (šećera, kiselina, minerala, vitamina) iz biljnog tkiva u okolni rastvor koji, iako kvantitativno zanemarljiv, utiče na senzorske, nutritivne i funkcionalne karakteristike finalnog proizvoda (slika 2.4.) (Rahman, 2007).



Slika 2.4. Pojednostavljena šema procesa osmotske dehidracije biljog tkiva (Urle i Schubert , 2001)

Osnovni cilj osmotskog tretmana je da se omogući maksimalno uklanjanje vode iz prehrambene sirovine uz istovremeno minimalno usvajanje suve materije kako bi se smanjile neželjene promene ukusa i mirisa tretiranog proizvoda, postigla njegova stabilnost i zadržale hranljive materije u biljnom tkivu (Raoult-Wack, 1994). Kao rezultat dobija se proizvod sa stabilnijom bojom koji teže podleže enzimskom oksidacionom potamnjivanju, a zadovoljava zahteve potrošača za proizvodom koji je minimalno tretiran i procesuiran (Rastogi i sar., 2002).

Osmotska dehidracija ne obezbeđuje potpunu stabilnost tj. održivost tretiranog materijala, već se na ovaj način dobijaju proizvodi sa srednjim sadržajem vode i svrstavaju se u delimično konzervisane proizvode (Lazarides, 1994; Le Maguer i sar., 2003). Aktivnost vode se ne redukuje u toj meri da se potpuno spreči rast i razmnožavanje mikroorganizama. Osmotski dehidrirani proizvodi se mogu podvrgnuti daljem konzervisanju u cilju postizanja potpune stabilnosti. Ovakav način uklanjanja vode iz hrane, gde se materijal prvo osmotski tretira, a potom dodatnom metodom dosušuje, značajno pojeftinjuje proizvodnju, u smislu smanjene potrošnje energije i omogućava očuvanje nutritivnih i senzorskih karakteristika početnog proizvoda (Torreggiani i Bertolo, 2001).

U najvažnije prednosti osmotske dehidracije u odnosu na druge tretmane sušenja ubrajaju se (Lević i sar., 2007; Tortoe, 2010; Mišljenović, 2012):

- Očuvanje i/ili poboljšanje nutritivnih (sadržaj minerala, vitamina i sl.) i senzorskih karakteristika (boja, ukus i tekstura) tretiranog materijala;

- Poboljšanje održivosti osmotski dehidriranih proizvoda – smanjenje aktivnosti vode povećava mikrobiološku stabilnost i usporava biohemijske reakcije koje uzrokuju kvarenje namirnica;
- Tokom osmotskog tretmana materijal je konstantno potopljen u osmotski rastvor tako da biljno tkivo nije izloženo dejstvu kiseonika, pa nije potrebna zaštita od oksidativnih i enzimatskih promena;
- Smanjenjem sadržaja vode redukuje se masa i zapremina proizvoda čime se umanjuju troškovi transporta, pakovanja i skladištenja;
- Energetski opravdan postupak – uklanjanje vode se odvija bez fazne promene i proces se odvija na nižim temperaturama, što umanjuje troškove energenata;
- Ekološki prihvatljiv postupak – ukoliko se pravilno upravlja zaostalim rastvorom nema sporednih, niti otpadnih produkata nakon procesa.

Međutim, i pored značajnih prednosti osmotskog tretmana, ograničenje u njegovoj široj industrijskoj primeni je cena i potreba za velikim količinama osmotskih rastvora. Velika količina osmotskog rastvora zaostalog nakon procesa predstavlja ekološki problem sa jedne strane i smanjuje isplativost procesa sa druge strane. Kao mogućnosti za rešenje ovog problema nameću se višestruka upotreba osmotskog rastvora (uz naknadnu korekciju njegove suve materije) ili valorizacija korišćenog osmotskog rastvora kao sirovine u drugim industrijskim granama (Rastogi i sar., 2002; Mišljenović, 2012). Od velike koristi je takođe i pronalaženje alternativnih sirovina koje se mogu uporebiti kao osmotski rastvori, kao što je melasa šećerne repe. Melasa je jeftina sirovina, dostupna u velikim količinama, a pored toga ima i veliku nutritivnu vrednost jer sadrži preko 200 nutritivno vrednih organskih i neorganskih jedinjenja (Filipčev i sar., 2008; Lević i sar., 2009).

2.2.1. Osmotski pritisak

Voda, kao jedan od glavnih konstituenata namirnica prirodnog porekla, utiče na njihovu mikrobiološku i hemijsku stabilnost, kao i na senzorske karakteristike poput sočnosti, elastičnosti, tvrdoće i teksture. Smatra se da na navedene karakteristike ne utiče količina vode, već termodinamičko stanje u kojem se ona nalazi (Potter i Hotchkiss, 1998). Termodinamičko stanje vode je izraženo pomoću aktivnosti vode. Smanjenjem a_w vrednosti povećava se stabilnost

hrane (mikrobiološka i hemijska), a tekstura se menja iz sočne i elastične, u lomljivu i krhku. Tokom procesa osmotske dehidratacije, voda u rastvoru je u interakciji sa rastvorenim supstancama. Ova veza je definisana termodinamičkim stanjem vode u rastvoru (Lewicki i Lenart, 2006).

S obzirom da svaki molekul ima sopstvenu unutrašnju energiju, i da je za svaku vrstu interakcije neophodna energija, svaka supstanca u rastvoru se nalazi u određenom energetskom stanju. To energetsko stanje izraženo na 1 mol supstance se naziva hemijski potencijal (Lewicki i Lenart, 2006). Hemijski potencijal je funkcija koncentracije, temperature i pritiska. Međutim, u izotermnim uslovima hemijski potencijal isključivo zavisi od pritiska i koncentracije (Cazier i Gekas, 2001). Povećanje koncentracije rastvorka smanjuje hemijski potencijal vode, koji se može izraziti preko aktivnosti vode prema sledećoj jednačini:

$$\mu_w = \mu_{ow} + RT \ln a_w \quad (2.2.)$$

Pri čemu je: μ_w – hemijski potencijal vode; μ_{ow} – standardni hemijski potencijal vode (na $T=298\text{K}$ i $p=101,3\text{kPa}$ iznosi $-237,18\text{ kJ}$); R – univerzalna gasna konstanta ($R = 8,314\text{ J/molK}$); T – apsolutna temperatura; a_w – aktivnost vode.

Usled interakcije dva sistema različitog energetskog stanja dolazi do razmene energije između njih sve dok se ne uspostavi ravnoteža tj. dok se hemijski potencijali dva sistema ne izjednače. Ravnotežno stanje se pri izotermnim uslovima postiže promenom pritiska ili promenom koncentracije. Dodatni pritisak potreban za uspostavljanje ravnotežnog stanja između čistog rastvarača i rastvora naziva se osmotski pritisak i izražava se prema sledećoj jednačini (Lewicki i Lenart, 2006):

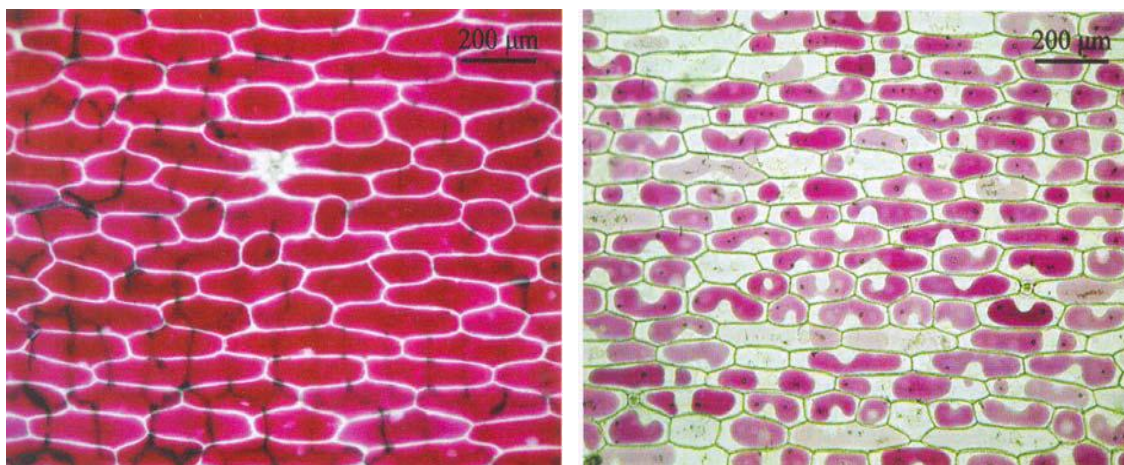
$$\Pi = -\frac{RT}{V} \ln a_w \quad (2.3.)$$

gde je V molarna zapremina rastvora. Kada postoji izvesna razlika koncentracija u sistemu, dolazi do pojave osmotskog pritiska, koji je u direktnoj vezi sa pojavom difuzije. Osmotski pritisak se može definisati kao merilo težnje nekog sistema da difuzijom povрати ravnotežu koncentracija na svim mestima na kojima je poremećena. Osmotske sile su dakle, pogonske sile difuzije (Filipović, 2013). Različiti osmotski pritisci dva sistema, koji su razdvojeni polupropustljivom membranom, uslovljavaju pojavu pogonske sile za prenos mase. Ovaj

fenomen se primenjuje u procesu osmotske dehidracije za uklanjanje vode iz materijala biljnog i životinjskog porekla (Ćurčić i sar., 2015).

2.2.2. Putevi prenosa mase tokom osmotske dehidracije

Pritisak rastvora unutar ćelijske vakuole potiskuje citoplazmu, koja vrši pritisak na citoplazmatsku membranu i ćelijski zid. Hidrostatički pritisak sadržaja ćelije na ćelijski zid naziva se turgor i uslovljen je prisustvom vode i osmotski aktivnih supstanci (organske kiseline, šećeri, mineralne soli) u ćelijskom soku. Ako je ćelija okružena rastvorom nižeg osmotskog pritiska (hipotonična sredina), odvija se difuzija vode iz okolnog rastvora u ćeliju i dolazi do povećanja turgora koji postaje sve veći s daljim primanjem vode. Kada se osmotski pritisci rastvora unutar ćelije i njene okoline izjednače (izotonična sredina), tada se sistem nalazi u termodinamičkoj ravnoteži, turgor postaje maksimalan, ćelija turgescetna, i dalje usvajanje vode prestaje (Kastori, 1998; Jančić, 2004). Ako se ćelija postavi u rastvor višeg osmotskog pritiska (hipertonična sredina), dolazi do izdvajanja vode iz ćelije i smanjivanja njene zapremine. Usled gubitka vode ćelijski zid se skuplja do trenutka dok ne dostigne donju granicu svoje elastičnosti tj. kada se ćelija smanji za najviše 20% zapreminski. Ukoliko je koncentracija spoljašnjeg rastvora i dalje viša od koncentracije ćelijskog soka, transport vode iz ćelije se nastavlja, ćelijski sok postaje koncentrovaniji, vakuola smanjuje obim, a protoplast se postepeno odvaja od ćelijskog zida, pri čemu se prostor između plazmaleme i ćelijskog zida ispunjava hipertoničnim rastvorom. Odvajanje protoplasta od ćelijskog zida naziva se plazmoliza. Ako se ćelija koja je pretrpela plazmolizu potopi u hipotoničan rastvor, nakon kratkog vremena protoplast ponovo naleže na ćelijski zid, i dolazi do suprotnog procesa, deplazmolize. U slučaju uklanjanja vode iz ćelije ispod 4%, protoplast ćelije odumire, nastaje grčevita plazmoliza i deplazmoliza je otežana ili potpuno onemogućena (Kojić i Pekić 1998; Jančić, 2004; Azarpazhooh i Ramaswamy, 2010). Na slici 2.5. prikazan je izgled ćelija epidermisa lista lukovice u turgescetnom i plazmaliziranom stanju.



Slika 2.5. Čelije epidermisa lista lukovice crnog luka, *Allium cepa* (Jančić, 2004)

a) čelije u turgescentnom stanju, b) čelije u plazmaliziranom stanju

Iako je mehanizam prenosa mase tokom osmotske dehidracije i dalje predmet naučnih istraživanja, dosadašnja saznanja delimično rasvetljavaju ovaj fenomen koji se odvija unutar biljnog tkiva i ukazuju na njegovu kompleksnost (Lewicki i Lenart, 2006). Sa aspekta procesa osmotske dehidracije, biljno tkivo se može posmatrati kao „kapilarno-porozni“ materijal. Kapilarni kanali ispunjavaju veći deo ekstracelularnog prostora i čine glavni put za prenos mase. Deo kapilara i pora je ispunjen vodom ili rastvorom, dok je ostatak prazan tj. ispunjen vazduhom (Spanswick, 1976; Shi i Le Maguer, 2003).

Za vreme osmotskog tretmana, uklanjanje vode se najvećim delom odvija difuzijom i kapilarnim tokom, dok se rastvorene materije iz osmotskog rastvora i iz biljnog tkiva transportuju isključivo difuzijom (Rahman, 2007). Na ćelijskom nivou, prenos mase se odvija: direktnim, transmembranskim, apoplastnim i simplastnim transportom (Shi i Le Maguer, 2003).

Glavni put za prenos vode iz ćelije je kroz kapilarne kanale koji ispunjavaju ekstracelularni prostor i pore u ćelijskom zidu (Lauchli, 1976). Ovakav vid transporta, gde se voda iz unutrašnjosti ćelije prenosi direktno u ekstracelularni prostor kroz pore ćelijskog zida, naziva se apoplastni transport. Rastvorene supstance se apoplastno transportuju zajedno sa vodenim tokom kroz seriju makro i mikro kapilara ili putem difuzije.

Prenos vode i rastvorka između susednih ćelija odvija se simplastnim transportom preko plazmodezmi ćelijskog zida. Simplastni tok vode kreće iz ćelija koje se nalaze su u dubljim

slojevima materijala prema ćelijama na površini, zahvaljujući razlici osmotskih pritisaka u ćelijama tj. putem osmoze. Apoplastni i simplastni tokovi prenosa vode su potpuno nezavisni jedan od drugog (Lewicki i Lenart, 2006).

Apoplastni transport je dominantniji vid prenosa mase u biljnom tkivu. U tkivu listova biljke odnos apoplastnog prema simplastnom prenosu mase je 50:1. U tkivu korena biljke ovaj odnos je manji (Spanswick, 1976).

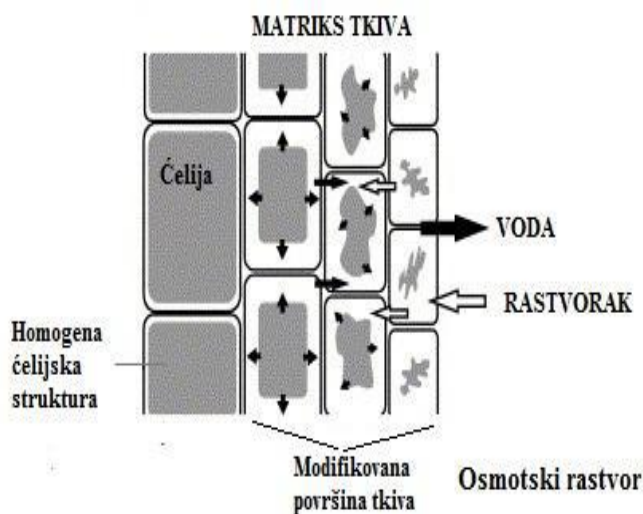
Ćelijski zid, plazmalema, tonoplast i ostale ćelijske membrane su selektivno propustljive, što omogućava transport vode i rastvorenih supstanci kroz membrane (transmembranski transport). Pogonska sila za transmembranski transport je razlika u osmotskim pritiscima sa suprotnih strana membrane. Pored toga, tokom osmotske dehidracije odvija se i direktni transport vode iz ćelija sa površine tkiva u okolni rastvor, ali ovaj vid prenosa mase je minoran u poređenju sa apoplastom i simplastom (Shi i Le Maguer, 2003).

2.2.3. Prenos mase tokom osmotske dehidracije

Prenos mase tokom osmotske dehidracije utiče na senzorski i nutritivni kvalitet dehidriranog proizvoda (Lewicki i Porzecka-Pawlak, 2005). Polupropustljive membrane biljnog tkiva predstavljaju glavni otpor prenosu mase tokom osmotske dehidracije (Rastogi i sar., 2004). Za vreme osmotskog tretmana dolazi do pojave multikomponentnog toka mase u dva različita smera, jer ćelijska membrana, usled složene strukture i mogućih oštećenja tokom procesa, nije savršeno permeabilna. Stanje polupropustljive membrane može da se menja od delimične do potpune permeabilnosti, usled promena u njenoj strukturi. Najverovatniji uzrok ovih promena je skupljanje ćelija, koje je prouzrokovano gubitkom vode tokom osmotskog tretmana. Zbog toga, rastvorene supstance takođe difunduju iz hipertoničnog rastvora u međućelijski prostor tkiva sirovine koja se dehidrira, dok u rastvor ulazi voda, rastvorljive materije i gas iz međućelijskog prostora (Rastogi i sar., 2002 ; Shi i Xue, 2009).

Prenos mase i skupljanje tkiva istovremeno se odvijaju tokom procesa osmotske dehidracije (slika 2.7.) (Le Maguer i sar., 2003; Shi i Xue, 2009; Phisut, 2012). Do skupljanja biljnog tkiva dolazi jer je količina vode koja se izdvoji iz tkiva veća od količine rastvorenih supstanci koje difunduju u tkivo iz osmotskog rastvora (Sablani i sar., 2002). Potapanjem biološkog materijala u visoko koncentrovani osmotski rastvor ćelije u prvom sloju tkiva počinju

da gube vodu usled koncentracionog gradijenta između površinskih ćelija i hipertoničnog rastvora. Kako površinske ćelije gube vodu, tako dolazi do njihovog skupljanja. Nakon što ćelije prvog sloja izgube vodu, uspostavlja se razlika u hemijskom potencijalu vode ćelija prvog i drugog sloja, usled čega voda prelazi iz ćelija drugog sloja materijala u ćelije prvog sloja pri čemu dolazi do skupljanja ćelija drugog sloja (Rastogi i sar., 2002). Fenomen prenosa mase i skupljanja tkiva kreće od površinskih slojeva ka centralnim slojevima materijala i zavisi od vremena trajanja procesa. Na kraju, ćelije centralnih slojeva materijala gube vodu, a proces prenosa mase se nakon dužeg perioda kontakta materijal/rastvor, približava ravnotežnom stanju (Chrilat i Fito, 2003; Angeli i sar., 2005).



Slika 2.6. Šematski prikaz promena u ćelijama biljnog tkiva nastalih usled prenosa mase tokom osmotske dehidracije (Agneli i sar., 2005)

Prodiranje rastvorka u biljno tkivo, tokom procesa osmotske dehidracije je ograničeno na spoljašnje slojeve materijala, što u manjoj meri dovodi do promena hemijskog sastava, teksture, ukusa, boje i nutritivnog kvaliteta finalnog proizvoda (Warczok, 2005). U spoljašnjim zonama tkiva (penetraciona zona) je deo ćelija razoren zbog visokog osmotskog pritiska i veći deo rastvorka koji prodire u tretirani materijal se zadržava u ovoj zoni, čak i nakon dugotrajne imerzije. Tokom osmotskog tretmana unutrašnjost tkiva tretirane namirnice ostaje nepromenjena (Shi i Le Maguer, 2002). Ustanovljeno je da molekuli saharoze prodiru u površinski sloj biljnog tkiva debljine 2-3mm, dok najveće promene u sadržaju vode nastaju u sloju debljine do 5mm (Bolin i sar., 1983; Lenart i Flink, 1984). Istraživanja Chenlo-a i sar. (2007) ukazuju da se u

prvih 4 sata dehidracije sadržaj saharoze povećava u površinskim slojevima tkiva, dok je prodiranje saharoze u srednje i unutrašnje slojeve zanemarljivo. Nakon ovog perioda dolazi do prodiranja rastvorka i u ostale slojeve usled difuzije iz spoljašnjih slojeva materijala. Intenzivno prodiranje osmoaktivnih supstanci uzrokuje nastanak koncentrovanog, čvrstog sloja na površini biljnog tkiva koji stvara dodatni otpor prenosu mase tokom osmotske dehidracije (Lenart i Lewicki 1987; Lenart, 1994).

2.2.4. Faktori koji utiču na proces osmotske dehidracije

Mnogobrojni faktori utiču na efikasnost osmotskog tretmana, a samim tim i na kvalitet dehidriranog proizvoda. Sa jedne strane to su karakteristike sirovog materijala (zrelost, veličina, oblik) koji se podvrgava dehidraciji, a sa druge parametri samog procesa. Najvažniji procesni parametri koji direktno utiču na prenos mase tokom osmotske dehidracije su: temperatura procesa, vrsta i koncentracija osmotskog rastvora i dužina trajanja procesa (Tortoe, 2010; Mišljenović, 2012).

2.2.4.1. Vrsta i stepen zrelosti materijala

Vrsta i stepen zrelosti biljnog materijala u velikoj meri utiču na strukturu biljnog tkiva, strukturu ćelijske membrane, veličinu međućelijskog prostora, kompaktnost tkiva, količinu zarobljenog vazduha u porama tkiva itd. (Lazarides, 2001). Ove razlike nisu samo posledica različite vrste i stepena zrelosti materijala, već se mogu javiti u različitim delovima jedne biljne vrste npr. korenu i listu. (Torreggiani, 1993). Na kinetiku osmotske dehidracije takođe mogu uticati hemijski sastav biljnog materijala (proteini, ugljeni hidrati, masti, soli itd.) i fizičke karakteristike tkiva (poroznost, raspored ćelija, položaj vlakana i pokožica) (Rahman, 2007). Poroznost tkiva utiče na fenomen skupljanja tkiva, na brzinu prenosa mase u tkivu kao i na stepen rehidracije (Mavroudis i sar., 1998). Kompaktnost tkiva je jedna od važnijih karakteristika materijala sa stanovišta osmotske dehidracije, jer utiče na njegove termofizičke i transportne osobine kada je u kontaktu sa osmotskim rastvorom (Lazarides, 2001).

2.2.4.2. Oblik i veličina materijala

Od oblika tretiranog materijala zavise specifična površina materijala i dužina difuzionog puta vode i rastvorenih supstanci koji učestvuju u prenosu mase tokom osmotskog tretmana. Povećanje specifične površine materijala koji se dehidrira uslovljava veći gubitak vode i priraštaj suve materije (Lerici i sar., 1985). Panagiotou i sar (1998) su ustanovili da je sa povećanjem veličine materijala izdvajanje vode sporije zbog porasta dužine difuzionog puta vode, dok je kod manjih uzoraka izdvajanje vode brže. Uobičajeni oblici materijala koji se koriste u osmotskoj dehidrataciji su cilindri, kocke, diskovi, prstenovi, sfere itd. (Tortoe, 2010).

2.2.4.3. Vrsta predtretmana

Primena tretmana kao što su blanširanje, smrzavanje, sulfatacija ili kišeljjenje sirovine pre osmotske dehidratacije, može se negativno odraziti na kvalitet osmotski dehidriranog proizvoda. Islam i Flink-u (1982) uočili su da blanširanje u trajanju od 4 min uzrokuje manji gubitak vode i veći priraštaj suve materije, i samim tim smanjuju efikasnost osmotske dehidratacije. Smrzavanje svežeg materijala dovodi do oštećenja integriteta ćelija tkiva usled pojave kristala leda, umanjujući efikasnost osmotskog procesa (Ponting, 1973).

Potapanje u 1% rastvor limunske kiseline, pre osmotskog tretmana vrši se u cilju zaštite materijala od enzimskog tamnjenja. Svrha potapanja materijala u rastvore baza ili kiselina pre osmotskog sušenja je zaštita boje materijala koji se tretira (Hussaini i sar., 2004; Sunkja i Ragharan, 2004). Torreggiani (1993) je ustanovio da se prethodnom sulfatacijom i blanširanjem takođe štiti prirodna boju materijala tokom osmotske dehidratacije.

2.2.4.4. Vreme trajanja procesa

Da bi se dostiglo ravnotežno stanje tokom procesa osmotske dehidratacije (jednaka aktivnost vode i koncentracija rastvorka u rastvoru i materijalu) potrebno je relativno dugo vreme dehidratacije. Lenart i Flink, 1984 su ustanovili da se ravnotežno stanje u procesu osmotskog sušenja postiže nakon 20 časova, ali da se intenzitet prenosa mase ne menja značajno nakon 4h procesa. Istraživanja Lazarides (1994), Koprivica i sar. (2009), Knežević i sar. (2012)

pokazuju da je proces uklanjanja vode najitezivniji u toku prvog sata osmotske dehidracije, a da se nakon trećeg postepeno usporava. Proces osmotske dehidracije najčešće traje od 3 do 5 sati, jer je transport mase tada najbrži i najznačajniji za sagledavanje fenomena prenosa (Biswal i sar., 1991; Tortoe, 2010; Mišljenović i sar., 2010).

2.2.4.5. Temperatura osmotskog rastvora

Temperatura osmotskog rastvora je parametar procesa koji najviše utiče na kinetiku prenosa mase tokom osmotskog tretmana. Beristein i sar. (1990) su ukazali na to da povećanje temperature rastvora uzrokuje povećanje gubitka vode, dok je uticaj temperature na priraštaj suve materije slabiji. Usled dejstva visokih temperatura, difuzija rastvorka kroz ćelijsku membranu je manja u odnosu na difuziju vode, pa se ravnotežno stanje postiže u većoj meri zahvaljujući difuziji vode, i kao rezultat dobija se osmotski dehidriran uzorak sa manjim sadržajem suve materije (Rahman i Lamb, 1990; Phisut, 2012). Više temperature smanjuju viskozitet osmotskog rastvora i time ubrzavaju izdvajanje vode kroz nabubrele ćelijske membrane, ubrzavaju difuziju vode unutar biljnog tkiva i obezbeđuju bolji prenos mase na površini tretiranog materijala. Difuzija rastvorka u dehidrirani materijal je takođe ubrzana usled povišenih temperatura, ali manje u odnosu na vodu, jer brzina difuzije rastvorka više zavisi od veličine rastvorka i koncentracije osmotskog rastvora (Tortoe, 2010).

Međutim, mora se uspostaviti kompromis između stepena prenosa mase tokom osmotske dehidracije (željeni gubitak vode) i očuvanja kvaliteta krajnjeg proizvoda, s obzirom da visoke temperature mogu negativno da utiču na kvalitet produkta. Ako temperatura dostigne svoju kritičnu vrednost, ćelijska membrana počinje da gubi svoju permeabilnu funkciju, zbog denaturacije proteina (Gekas, 2001; Saputra, 2001, Mišljenović i sar., 2012). S druge strane, primena nižih temperatura utiče na očuvanje boje i zadržavanje senzorskih i nutritivnih karakteristika polaznog proizvoda. Granica primene visokih temperatura zavisi od toplotne tolerancije tkiva koje se dehidrira (Lazarides, 2001). Le Maguer, 1988 navodi da granična temperatura tokom osmotskog tretmana iznosi 60°C. Prema nekim navodima, enzimsko tamnjenje i pogoršanje senzornih karakteristika materijala počinje na temperaturi od 49°C (Lazarides, 1994; Ponting i sar., 1966; Shi i Xue, 2009).

2.2.4.6. Koncentracija osmotskog rastvora

Na osnovu svojih istraživanja, Conway i sar. (1983), Hawkes i Flink (1978) i Lenart (1992) su doneli zaključak da povećanje koncentracije osmotskog rastvora pospešuje gubitak vode i smanjenje ukupne mase uzorka. Ovakav efekat koncentracije rastvora zasniva se na činjenici da se sa povećanjem koncentracije rastvorenih supstanci u osmotskom rastvoru smanjuje njegova aktivnost vode (Biswal i Le Maguer, 1989, Biswal i sar., 1991, Magee i sar., 1983, Marcotte i Maguer, 1991). Svojim istraživanjima Saurel i sar. (1994a, b) ukazali su da povećanje koncentracije rastvora uslovljava formiranje gustog, barijernog sloja na površini materijala koji poboljšava efekat izdvajanja vode iz materijala, a istovremeno smanjuje gubitak nutrijenata tokom procesa. Barijerni sloj rastvorka se formira i u slučaju primene osmotskih rastvora sa rastvorcima velikih molekulskih masa, čak i pri nižim koncentracijama (Saurel i sar. 1994a, b). Rastvori nižih koncentracija prodiru u dublje slojeve tkiva koji se tretira i izazivaju veći priraštaj suve materije, dok visoko koncentrovani rastvori dovode do većeg i brže gubitka vode iz tkiva (Rodrigues i Mauro, 2004).

2.2.4.7. Vrsta osmotskog agensa

Osmotski rastvor u najvećoj meri utiče, kako u kvantitativnom tako i u kvalitativnom smislu na transport materije tokom tretmana, i na taj način određuje finalne osobine i kvalitet dehidriranog proizvoda. Koji će se osmotski rastvor koristiti zavisi od željenog gubitka vode, priraštaja suve materije, teksture i senzorskih karakteristika finalnog produkta (Phisut, 2012). Aspekti senzorskih karakteristika uslovlili su da se rastvori šećera (saharoze, glukoze, fruktoze i kukuruzni sirup) najčešće koriste za osmotsku dehidrataciju voća, dok se rastvori soli (NaCl i CaCl₂) koriste za dehidrataciju povrća, mesa i ribe (Rastogi i sar., 2002). Koriste se i drugi osmotski agensi, kao što su laktoza, maltodekstrin, etanol, glukoza i glicerol (Sereno i sar., 2001; Akbarian i sar., 2014). Da bi proces osmotske dehidratacije bio ekonomičniji često se i sporedni proizvodi iz drugih tehnologija koriste kao hipertonični rastvori npr. surutka je korišćena kao osmotski rastvor za dehidrataciju paprike (Torreggiani i sar., 1995). Sporedni proizvod industrije šećera, melasa šećerne repe, pokazala se kao veoma efikasan medijuma za dehidrataciju voća (Koprivica i sar., 2009; Koprivica i sar., 2012), povrća (Mišljenović i sar., 2012; Koprivica, 2013; Cvetković, 2014) i mesa (Filipović i sar., 2012; Nićetin i sar., 2012; Šuput i sar. 2015).

2.2.4.8. Karakteristike rastvorka

Mnoga istraživanja su pokazala da fizičko-hemijske karakteristike rastvorka utiču na proces osmotske dehidracije (Bolin i sar., 1983; Hawkes i Flink, 1978; Lenart i Lewicki, 1987). Ustanovljeno je da dejstvo osmotskog rastvora na odnos gubitak vode/priraštaj suve materije tokom procesa dehidracije zavisi od molekulske mase, jonskog stanja i rastvorljivosti rastvorka u vodi. Što su molekuli rastvoraka manji to su veći dubina i obim prodiranja u tretirani materijal (Lazarides, 1994). Ako se uporede dva rastvora jednakih koncentracija ali različitih molekulskih masa materija rastvorenih u njima, uočava se da je brzina gubitka vode veća pri dehidraciji u rastvoru čije rastvorene materije imaju manje molekulske mase (Lenart, 1992; Leric i sar., 1985). Na proces osmotske dehidracije utiče i pH vrednost osmotskog rastvora. Moy i sar. (1978) su ustanovili da zakišeljavanje rastvora povećava brzinu uklanjanja vode, jer niska pH vrednost utiče na promenu teksture tkiva materijala koji se tretira.

2.2.4.9. Mešanje osmotskog rastvora

Mešanje ili cirkulacija rastvora oko uzoraka pospešuje proces osmotske dehidracije (Contreras i Smiril, 1981). Mešanje obezbeđuje konstantan kontakt površine uzorka sa koncentrovanim osmotskim rastvorom, čime se obezbeđuje veliki koncentracioni gradijent na dodirnoj površini uzorak/osmotski rastvor. Raoult-Wack (1994) je ustanovio da se mešanjem favorizuje gubitak vode, posebno na nižim temperaturama ($<30^{\circ}\text{C}$), zbog velikog viskoziteta rastvora na početku procesa. Mešanje takođe smanjuje brzinu prodiranja rastvorka u tretirani materijal (Tortoe, 2010).

2.2.4.10. Odnos osmotski rastvor/materijal

Ponting i sar. (1966), Flink (1979) su ustanovili da povećanje odnosa osmotski rastvor/materijal povećava gubitak vode i priraštaj suve materije tokom osmotskog tretmana. Da bi se izbeglo značajnije razblaženje osmotskog rastvora usled izdvajanja vode iz materijala, koje utiče na smanjenje pogonske sile za dehidraciju, koriste se veliki odnosi rastvor/materijal (10:1, 20:1 ili 30:1). Conway i sar. (1983) su u svojim istraživanjima koristili manji odnos rastvor/materijal (4:1 i 3:1), jer su praćenjem promene koncentracije rastvora nadgledali proces prenosa mase tokom osmotske dehidracije.

2.2.4.11. Radni pritisak

Primena vakuuma intenzivira kapilarni tok i difuziju vode tokom osmotske dehidratacije, ali nema uticaja na prodiranje rastvorene supstance u tretirani materijal (Fito, 1994; Fito i Pastor, 1994; Akbarian i sar., 2014). Pozitivan uticaj na prenos mase tokom osmotske dehidratacije ima i primena visokog hidrostatickog pritiska, centrifugalne sile, visokog električnog polja i ultrazvuka (Rahman, 2007).

2.2.5. Melasa šećerne repe

Melasa je koncentrovani tečni ekstrakt koji predstavlja nusprodukt industrijske prerade šećera iz šećerne repe (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). To je tamnomrki sirup, velikog viskoziteta, dobijen na poslednjem stepenu kristalizacije iz kojeg više nije moguće, pod povoljnim tehnološkim uslovima, dobiti šećer zadovoljavajućeg kvaliteta (Šušić i sar., 1995; Lević i sar., 2007). Ipak, u melasi zaostaje velika količina saharoze, oko 50%. Pored saharoze kao dominantne komponente, u melasi su u manjim količinama prisutni i drugi šećeri poput trisaharida rafinoze (oko 1%) i monosaharida glukoze i fruktoze u količini od po 25% (Petrov i Petrov, 1980). Tamna boja melase potiče pretežno od melanoidina i produkata karamelizacije (Šušić i sar., 1995). Melasa predstavlja polikomponentni sistem dosta promenljivog hemijskog sastava, u zavisnosti od sastava šećerne repe kao polazne sirovine, kao i od primenjenih tehnoloških postupaka u fazi čišćenja difuzionih sokova i fazi kristalizacije saharoze iz pogonskih šećernih sirupa. Visok sadržaj suve materije (preko 80%) i kompleksnost hemijskog sastava melase uslovljeni su prisustvom preko 200 raznih organskih i neorganskih jedinjenja. Proteini koji ulaze u sastav melase u proseku oko 5%, su niskomolekularni makromolekuli, kod kojih oko polovine od ukupnih količina aminokiselina čini glutaminska kiselina. U melasi se nalazi i pet esencijalnih aminokiselina: lizin, valin, izoleucin, leucin i fenilalanin (Šušić i Sinobad, 1989). Najzastupljenija azotna materija repe je betain. U repi ga ima oko 0,3%, a u melasi ga može biti i preko 6%. Ostale neproteinske azotne komponente koje se nalaze u slobodnom stanju u melasi su: slobodna glutaminska kiselina (oko 4%), holin, alantoin, purin, pirimidin, citozin, gvanozin, citidin, melanoidini (u količini od oko 1,5% ukupno). U bezazotna organska jedinjenja, koja u manjim količinama ulaze u sastav melase šećerne repe, spadaju organske kiseline (oko 3%), složeni polisaharidi pektini, galaktani, dekstrani, levani, arabani, kao

i produkti karamelizacije (Viktorović i sar., 1966; Filipčev, 2009). Od svih prisutnih organskih kiselina u melasi, slobodna mlečna kiselina je zastupljena u najvišem procentu (0,5%). U melasi se nalazi i oksalna kiselina (0,01%), oksiglutarina, saharinska, huminska, arabinska i glicinska kiselina. U maloj meri su zastupljene i isparljive kiseline: mravlja, sirćetna, propionska i buterna, kao i jedinjenja ovih kiselina (Šušić i sar., 1995). Pored navedenih sastojaka, melasa šećerne repe predstavlja značajan izvor brojnih mikronutrijenata (vitamina i minerala), naročito kalijuma, kalcijuma, gvožđa, magnezijuma i vitamina B kompleksa (tabela 2.2.).

Tabela 2.2. Sadržaj mikronutrijenata (mg/100g melase) u različitim vrstama melase

K	Na	Ca	Mg	Fe	Vit. B5	Niacin	Tiamin	Referenca
3920	680	100	50	11,7	0,3	-	-	Sauvant, Perez i Tran, 2004
3920	1300	100	320	11,7	11,1	44,8	8,5	Grbeša, 2004
4700	1000	200	-	11,7	0,7	-	-	Curtin, 1983
4060	590	185	85	3,0	0,08	2,9	0,04	Šušić i Sinobad, 1989

Posebno značajna činjenica je da su sve mineralne komponente melase u rastvorenom stanju i da se kalijum nalazi u znatno većoj količini od svih ostalih katjona sa udelom od oko 75%. Komparativnom analizom sastava pčelinjeg meda i melase šećerne repe utvrđeno je da melasa sadrži manje šećernih komponenti od meda za oko 20%, ali ona ima znatno veće količine supstanci važnih za ishranu i to: belančevina i drugih aktivnih azotnih jedinjenja, mineralnih materija i vitamina, pre svega vitamina B kompleksa (Šušić i Sinobad, 1989).

S obzirom da je nusproizvod, u melasi se zadržavaju svi sastojci iz biljne sirovine koji nisu uklonjeni izdvajanjem šećera (neekstrabilni šećeri, minerali, vitamini, itd.). Pored toga, u melasi se mogu nagomilavati nenutritivne i štetne materije poput teških metala, pesticida i sl. Nenutritivne materije u melasi uglavnom ne potiču iz biosintetskog ciklusa biljne sirovine, osim saponina prisutnih u šećernoj repi. Oni predstavljaju triterpenske derivate polisaharida – glikozide i pokazuju hemolitičko delovanje. Međutim, prehrambeni izvori saponina postaju interesantni otkako se otkrilo da pokazuju holesterol snižavajuće i antikancerogeno delovanje (Gurfinkel i Rao, 2003; Kim i sar. 2003). Sadržaj saponina u melasi šećerne repe (oko 0.025 %) se smatra neškodljivim za zdravlje ljudi (Šušić i Sinobad, 1989). Melasa sadrži SO₂ u malim količinama (neškodljivim po ljudsko zdravlje), koji potiče od SO₂ iz zakišeljene vode za

ekstrakciju rezanaca (Filipčev i sar., 2008). Mikroorganizmi u melasu dospevaju sekundarnom kontaminacijom zbog skladištenja u nesterilnoj sredini (Šušić i Sinobad, 1989).

2.2.5.1. Upotreba melase šećerne repe

Primena melase je veoma raznovrsna (Balat i sar., 2008; Lević i sar., 2009; Filipčev i sar., 2010; Koprivica i sar., 2010):

1. Korisiti se kao supstrat u brojnim fermentacionim postupcima kod proizvodnje pekarskog i pivskog kvasca, proizvodnje etanola, limunske kiseline, lizina i mononatrijum glutamata;

2. Primenjuje se kao vezivno sredstvo i stabilizator (u proizvodnji briketa uglja, cementa, izrada kalupa od peščanika);

3. Upotrebljava se kao sredstvo za kompostiranje;

4. Primenjuje se kao dodatak u hrani za životinje (uglavnom melasa šećerne repe) i konditorskim proizvodima, pekarskim proizvodima, umacima, itd. (uglavnom melasa šećerne trske).

Da bi se melasa šećerne repe mogla koristiti u prehrambene svrhe, neophodno je sterilisati i korigovati specifičan miris i ukus melase šećerne repe. Ograničavajući faktor u primeni melase kod ishrane ljudi je relativno visok sadržaj K^+ jona koji može imati purgativno dejstvo. Preporučena dnevna količina je od 20 do 40 g (Mišljenović, 2012).

Šećeri, koji se nalaze u melasi, su u fermentabilnom obliku (mikroorganizmi mogu da ih usvoje i do 50%). Pored šećera, melasa sadrži i sve kvascu neophodne nutrijente (minerale i vitamine), pa se zato tradicionalno upotrebljava za proizvodnju bioetanola u evropskim zemljama (Balat i sar., 2008).

2.2.5.2. Antioksidativni potencijal melase šećerne repe

Kako bi se izbegla primena sintetičkih antioksidanata, koji mogu da ispoljavaju negativne efekte po zdravlje, naučna istrživanja su sve više usmerena na pronalaženje alternativnih izvora antioksidanata prirodnog porekla. Posebna pažnja posvećena je mogućnosti da se antioksidansi izoluju iz otpadnih materijala u prehrambenim industrijama, kao što je melasa (Moure i sar., 2001). Pored činjenice da je melasa šećerne repe bogat izvor mnogih važnih nutrijenata, postoje

istraživanja koja ukazuju da melasa poseduje i značajan antioksidativni potencijal. U nekim studijama potvrđeno je prisustvo fenolnih jedinjenja u melasi, koji joj pridodaju moguću ulogu u prevenciji bolesti uzrokovanih oksidativnim stresom. Potvrđena antioksidativna aktivnost ekstrakata melase, otvara mogućnost njihove primene u industriji hrane. Kao izvor prirodnih antioksidanata, melasa može poboljšati funkcionalnost, bezbednosni i zdravstveni aspekt hrane u koju se dodaje (Nagai i sar., 2001; Takara i sar., 2007; Guimarães i sar., 2007).

Betain i holin, prisutni u melasi u količini do 6% i manje od 1%, respektivno, su dugo zanemarivani kao nosioci antioksidativnog delovanja. Betain omogućuje konverziju homocisteina u metionin jer je donor metil grupe, a poznato je da je visoka koncentracija homocisteina jedan od najbitnijih faktora rizika za oksidativni stres koji vodi kardiovaskularnim bolestima. Betain se dobro resorbuje u digestivnom traktu i zajedno sa folatima smanjuje oksidacioni stres *in vivo* smanjujući koncentraciju homocisteina kod laboratorijskih miševa u studiji Baraka i sar. (2003). Mnoge studije potvrđuju da unošenje betaina pokazuje brojne zaštitne funkcije kao što su hepatoprotektivna funkcija i delovanje protiv poremećaja apoptoze (programirane smrti ćelija). Holin je prekursor betaina i takođe ima funkciju u odbrambenom mehanizmu organizma od oksidacionog stresa (Ganesan i sar., 2007).

Antioksidativne komponente u melasi mogu da potiču iz šećerne repe ili trske (npr. fenolna jedinjenja), ili nastaju tokom procesa prerade u proizvodnji šećera (npr. obojeni produkti Majlardovih reakcija-melanoidini, ili produkti termalne ili alkalne degradacije šećera) (Guimarães i sar., 2007). Produkti neenzimskog tamnjenja (melanoidini), formiraju se pri proizvodnji šećera, usled brojnih reakcija redukujućih šećera i aminokiselina, pa u melasi zaostaju velike koncentracije ovih jedinjenja u širokom rasponu, od malih organskih jedinjenja do kompleksnih aromatičnih polimera (Valli i sar., 2012). Neke studije potvrdile su da melanoidini pokazuju značajne antioksidativne i antimikrobne sposobnosti, i sprečavaju oksidaciju lipida. Takođe, postoje navodi da melanoidini utiču povoljno na odbrambeni sistem živih organizama (Borelli i sar., 2002; Milutinović i sar., 2013).

Obojeni produkti iz melase šećerne repe i trske se u osnovi razlikuju. Koloranti melase šećerne repe u najvećoj meri nastaju tokom prerade, alkalnom razgradnjom inverta i formiranjem melanoidina, dok se koloranti šećerne trske uključuju u proces kao biljni pigmenti povezani sa polisaharidima, i malo se menjaju u toku procesa. Pored toga, polisaharidi šećerne trske koji učestvuju u formiranju bojnih jedinjenja, mogu biti povezani sa fenolnim kiselinama. Moguće

je da upravo ove razlike doprinose većoj ukupnoj antioksidativnosti melase šećerne trske u poređenju sa melasom šećerne repe. Prema rezultatima Valli i sar. (2012) veći antioksidativni potencijal melase šećerne trske potvrđen je DPPH metodom, gde je koncentracija melase potrebna da smanji oksidaciju za 50% iznosila 7,25 mg/ml za melasu šećerne trske i 1,47 mg/ml za melasu šećerne repe.

Prema podacima Maestro-Durána i sar. (1996) u melasi šećerne repe identifikovano je 12 fenolnih jedinjenja: šest benzoevih kiselina (galna, protokatehinska, p-hidroksibenzoeva, salicilna, vanilinska i siringinska), dve cimetne kiseline (p-kumarinska i ferulinska), tri fenolna aldehida (protokatehinski, p-hidroksi-benzoev i vanilinski aldehyd) i jedan fenolni alkohol (gvajakol). Valli i sar. (2012) uporedili su fenolne profile melase šećerne trske i šećerne repe i utvrdili da je siringinska kiselina fenolna komponenta koja je u najvećoj meri zastupljena u melasi šećerne trske, dok je u melasi šećerne repe ona prisutna u maloj količini. Sa druge strane glavne fenolne komponente u melasi šećerne repe su ferulna kiselina, luteolin i kamferol, a ova jedinjenja se nalaze u malim količinama u melasi šećerne trske ili nisu identifikovana.

Grupa autora iz Kine, ispitivala je ukupan sadržaj fenola, antioksidativnu aktivnost pomoću ABTS metode i ukupan sadržaj antocijanida u melasi šećerne repe. Kao rezultate svojih istraživanja dobili su sledeće vrednosti: ukupan sadržaj fenola 17.36 mg GAE/100 mL, antioksidativna aktivnost 16.66 mgTE/g, i ukupan sadržaj antocijanida 31.81 mg/100 g. Hemijski sastav ekstrakata melase šećerne repe, identifikovali su odgovarajućom HPLC metodom, i obuhvatao je deset antioksidativnih komponentata (fenolnih kiselina i glukozida): galna, p-hidroksibenzoeva, vanilinska, siringinska i ferulna kiselina, katehin, cijanidin-3-O-rutinozid, cijanidin-3-O-glukozid, delfinidin-3-O-rutinozid i delfinidin-3-O-glukozid (Chen i sar., 2015a).

U istraživanju Asikin i sar. (2013) potvrđeno je da melasa šećerne trske zbog svojih antioksidativnih sposobnosti inhibitorno deluje protiv peroksidnih radikala i oksidativnih oštećenja DNK. Poznata fenolna jedinjenja identifikovana u ispitivanim frakcijama obuhvataju šaftozide, izoštaftozide, p-kumarinsku i ferulnu kiselinu, hidroksibenzoev aldehyd i p-hidroksi-acetonfenon.

Istraživanja u kojima su se proučavala antioksidativna i antiinflamantorna svojstva melase šećerne repe, kao i njen i zaštitni efekat protiv oksidativnih oštećenja DNK, pokazala su pozitivne rezultate. Postoje naučne tvrdnje da ekstrakti melase šećerne repe mogu da sprečavaju rast kancerogenih ćelija u slučajevima raka dojke, jetre i debelog creva. Tri polifenolna

jedinjenja (galna kiselina, cijanidin-3-O-glikozid hlorid i epikatehin), izolovana iz melase šećerne repe, potvrdila su citotoksično delovanje protiv ovih vrsta kancera. Etilacetatni ekstrakt pokazao je najveću antioksidativnu aktivnost među ispitivanim ekstraktima, a između izolovanih jedinjenja, galna kiselina se izdvaja kao najmoćniji antioksidant. Veliki antioksidativni potencijal galne kiseline, pripisuje se prisustvu tri hidroksilne grupe na aromatičnom prstenu, koje utiču na njena antioksidativna i antiradikalska svojstva. Međutim, antitumorna aktivnost je više izražena kod antocijanina, nego kod flavonoida. Tako je cijanidin-3-O-glikozid, ispoljio najjači citotoksični efekat, posebno na kancerogene ćelije debelog creva (94,86%). U velikom procentu doprinosi i inhibiciji umnožavanja tumornih ćelija jetre (87,27%) i dojke (67,13%). Rezultati istraživanja, sugerišu da postoji potencijal primene polifenolnih jedinjenja, izolovanih iz melase, u tretmanima lečenja od navedenih karcinoma (Chen i sar. 2015b; Chen i sar., 2016).

2.2.6. Uticaj osmotske dehidracije na karakteristike kvaliteta tretiranog biljnog materijala

Tokom osmotske dehidracije, uspostavljanje ravnoteže se odvija u pravcu gubitka vode i priraštaja suve materije, a oba utiču sa kvalitet krajnjeg produkta (Atares i sar., 2011). Specifičnost osmotskog tretmana u odnosu na ostale procese sušenja, ogleda se upravo u prirastu suve materije kao sekundarnom prenosu mase koji prati primarni prenos vode iz tkiva u osmotski rastvor. Usvajanje osmotskog rastvorka dovodi do promene senzorskog i hemijskog profila osmotski dehidriranog proizvoda u poređenju sa svežom sirovinom (Rahman, 2007). U istraživanjima Konopačka i sar., (2009) zaključeno je da su karakteristike osmotskih rastvora značajno uticale na ukus i/ili teksturu i senzorsku prihvatljivost dehidriranog materijala. Brojna istraživanja su pokazala da osmotski tretman poboljšava kvalitet tretiranog proizvoda sa aspekta boje, ukusa i teksture (Ponting i sar., 1966; Torreggiani i Bertolo, 2001). Pored poboljšanja senzorskih svojstava, prirast suve materije ima uticaj i na povećanje nutritivne vrednosti osmotski dehidriranih proizvoda (Hereida i sar., 2009). Proces osmotske dehidracije uzrokuje mnoge promene u strukturi ćelije, poput promene strukture ćelijskog zida, razdvajanja srednje lamele, plazmolize, skupljanja tkiva. Promene u strukturi ćelije uzrokuju promene optičkih ili mehaničkih karakteristike biljnog materijala, a samim tim utiču na izgled i teksturu finalnog proizvoda (Talens i sar., 2002; Chrilat i Talens, 2005).

Osmotska dehidracija je predtretman kojim se mogu poboljšati nutritivna, senzorna i funkcionalna svojstva hrane bez promene njenog integriteta (Torreggiani i Bertolo, 2001). Uglavnom se osmotski tretman koristi kao polazni korak koji prethodi daljem konzervisanju namirnica sa visokim procentom vode, poput zamrzavanja (Ponting i sar., 1966), sušenja zamrzavanjem (Hawkes i Flink, 1978), vakuum sušenja (Dixon i Jen, 1977) mikrotalasnog zagrevanja (Nelson i Datta, 2001), konvektivnog sušenja (Kowalski i sar., 2013). Mnoga istraživanja su pokazala da je stabilnost teksture, ukusa i boje u konvektivnom, vakuum ili smrzanjem sušenom voću i povrću unapređena, prethodnom primenom osmotskog tretmana (Krokida i sar., 2000, Kowalski i Mierzwa, 2011). Nakon osmotskog tretmana, u narednim koracima sušenja su vreme, temperatura i energija potrebna da bi se proces sušenja kompletirao značajno niži (Nowicka i sar., 2014). Singla i sar. (2010) procenjivali su efekat osmotske dehidracije kao predtretmana vakuum sušenju u pečurkama i potvrdili da osmotski tretman smanjuje potrebno vreme sušenja, što pogoduje većem zadržavanju nutritivnih supstanci koje su obično nestabilne, kada je materijal duže vreme izložen visokoj temperaturi. Riva i sar. (2005) su zapazili bolje očuvanje vitamina C u breskvi koja je prvo osmotski dehidrirana, pa sušena na vazduhu, nego kod breskve koja je sušena bez prethodnog osmotskog tretmana. Otkrili su da je ovaj fenomen posledica smanjene aktivnosti enzima fenoloksidaze i zaštitnog efekta šećera koji je impregniran tokom osmotske dehidracije.

2.2.6.1. Uticaj osmotske dehidracije na boju

Tokom osmotske dehidracije može doći do promene boje biljnih sirovina potopljenih u osmotske rastvore, pa je potrebno odrediti parametre boje pre i nakon tretmana (Osorio i sar., 2007). Ove promene mogu nastati usled moguće degradacije ili gubitka prisutnih biljnih pigmenata u tretiranom tkivu, odvijanja reakcija enzimskog ili neenzimskog tamnjenja tokom procesa ili zbog povećanja koncentracije pigmenata, usled gubitka vode i prirasta suve materije iz osmotskih rastvora (Talens i sar., 2002). Uslovi izvođenja procesa, kao što su temperatura, vreme imerzije, hemijski sastav i koncentracija upotrebljenog osmotskog rastvora mogu bitno da utiču na boju krajnjeg produkta, ali je ona uslovljena i fizičko-hemijskim karakteristikama samog biljnog tkiva (struktura tkiva, prisustvo pigmenata i sl.) (Chiralt i Talens, 2005; Hereida i sar., 2009).

Međutim, promene boje uzrokovane osmotskom dehidratacijom su mnogo manje u poređenju sa promenama koje nastaju primenom ostalih tehnika sušenja. Mnoga istraživanja su potvrdila da osmotska dehidratacija kao predtretman ima zaštitni efekat na boju voća i povrća, i omogućava dobijanje dehidriranog produkta sa prirodnijom bojom (Kowalski i Mierzwa, 2011, Landim i sar., 2016). Prema navodima Kowalski i sar., (2013), primena osmotske dehidratacije kao predtretmana smanjuje vreme potrebno za sušenje banane i šećerne repe, što rezultuje manjim gubicima bojenih materija u dehidriranim produktima. Takođe, izvodljivost na nižim temperaturama, proces osmotske dehidratacije čini pogodnijim od ostalih tehnika sušenja, u pogledu stabilizacije i prevencije boje od enzimskog tamnjenja, koje je jedan od glavnih uzročnika narušavanja kvaliteta voća i povrća nakon ubiranja i dalje obrade (Atares i sar., 2011).

Prodiranje šećera i snižavanje a_w vrednosti unutar biljnog tkiva, kao i odsustvo kiseonika tokom osmotske dehidratacije, inhibira delovanje polifenoloksidaze i na taj način smanjuje mogućnost enzimskog tamnjenja (Krokida i sar., 2000; Quiles i sar., 2005). Zbog povoljnog uticaja na očuvanje boje, osmotska dehidratacija limitira ili smanjuje upotrebu konzervanasa, kao što je SO_2 . Usled činjenice da se znatna količina vazduha ukloni iz međucelijskog prostora tretiranog tkiva ulaskom osmotskog rastvorka, tretman blanširanja u cilju zaštite boje pre osmotske dehidratacije može biti izostavljen (Konopacka i sar., 2009; Nowicka i sar., 2014).

2.2.6.2. Uticaj osmotske dehidratacije na antioksidativnu aktivnost

U današnje vreme povećano je interesovanje za pronalaženjem procesa koji mogu da očuvaju ili poboljšaju senzorna i funkcionalna svojstva hrane. Većina studija koje se bave osmotskom dehidratacijom više je fokusirana na modelovanje procesa, sa ciljem da se optimizuju uslovi procesa i ubrza sušenje, a manje na uticaj tih uslova na kvalitet krajnjeg produkta. Trenutni napor u nauci usmereni su ka razumevanju uticaja osmotske dehidratacije na kvalitet produkta, a naročito na njegovu antioksidativnost (Atares i sar., 2011; Landim i sar., 2016).

U odnosu na konvencionalnih tehnika sušenja, osmotska dehidratacija poseduje prednost u očuvanju ukupne antioksidativnosti biljne sirovine, zbog primene nižih temperatura, zaštitnog efekta okolnog osmotskog rastvora i ograničenja oksidativnom izlaganju (Hereida i sar., 2009).

Devic i sar., (2011). ustanovili su da je glavni mehanizam odgovoran za redukciju fenolnih jedinjenja tokom osmotskog tretmana difuzija vode. Fenolna jedinjenja rastvorna u vodi, zajedno sa vodom mogu da difunduju iz biljnog materijala u okolni rastvor. Međutim, uočeno je da je primenom koncentrovanijih rastvora, na nižim temperaturama, postignuto značajno očuvanje antioksidativne aktivnosti osmotski dehidriranih uzoraka. Inkorporacijom osmoaktivnih materija iz rastvora u potopljeni materijal, sprečavaju se oštećenja ćelija površinskih slojeva tretiranog tkiva i stvara se zaštitna barijera koja ograničava migraciju jedinjenja koja doprinose ukupnoj antioksidativnosti produkta, ka osmotskom rastvoru. Antioksidativna jedinjenja većih molekulske masa poput tanina i procijanidina, se u većoj meri zadržavaju u dehidriranom produktu, jer pružaju otpor transportu ka osmotskom rastvoru tokom procesa. Pored toga, penetracija osmotskog rastvorka u biljno tkivo stvara sredinu smanjene koncentracije kiseonika i vlage, pa se na taj način sprečava oksidacija bioaktivnih jedinjenja, putem aktivnosti enzima prisutnih u tkivu (Almeida i sar., 2014; Devic i sar., 2011). Quiles et al., (2005) pokazali su da se osmotskom dehidratacijom jabuke u rastvoru saharoze inhibira delovanje enzima polifenoloksidaze, što doprinosi očuvanju prisutnih polifenola.

Vrsta osmotskog rastvora direktno utiče na zadržavanje bioaktivnih jedinjenja i ukupni antioksidativni potencijal dehidrirane biljne sirovine. Primena različitih rastvoraka uslovljava različito zadržavanje antioksidativnih jedinjenja npr. rastvor saharoze omogućava veće zadržavanje antocijanina, a glukoza/fruktoza rastvori više utiču na očuvanje sadržaja fenola i ukupni antioksidativni kapacitet (Giovanelli i sar., 2012).

Almeida i sar. (2015). primenom visoko koncentrovanih rastvora postigli su u uzorcima banane zadržavanje ukupne antioksidativnosti i do 97%. Singla i sar. (2010) dokazali su u svojim istraživanjima da proces osmotske dehidratacije ne menja značajno antioksidativni kapacitet i sadržaj ukupnih fenola pečuraka. Tonnon i sar. (2007) uočili su da se ukupni sadržaj karotenoida u paradajzu zadržao nakon 6 h osmotske dehidratacije u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida. Hereida i sar. (2009). sugerišu da primenom osmotskog tretmana pored očuvanja bioaktivnih jedinjenja može doći čak i do blagog povećanja ukupne antioksidativnosti dehidriranog produkta. U svojim istraživanjima pokazali su da pod određenim uslovima procesa, raste sadržaj karotenoida, kao što su likopen i β -karoten u osmotski dehidriranom paradajzu. Prepostavili su da je ovo povećanje posledica biosinteze ovih karotenoida, koja nastaje kao odgovor na osmotski stres kome je podvrgnut materijal za vreme procesa.

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Mesto eksperimentalnog istraživanja doktorske disertacije bile su laboratorije Tehnološkog fakulteta, Univerziteta u Novom Sadu, gde su pripremani svi uzorci, sprovedeni postupci osmotskih tretmana, i gde je urađen jedan deo analiza na osmotski dehidranim uzorcima. Ovaj deo analiza se odnosi na ispitivanje uticaja prirode hipertoničnih rastvora, temperature i vremena imerzije na kinetiku prenosa mase tokom procesa osmotske dehidracije korena i lista celera, kao i na promenu boje uzoraka tokom procesa. U akreditovanim laboratorijama Naučnog instituta za prehrambene tehnologije (FINS) urađene su mikrobiološke analize i određen je mineralni sastav u uzorcima korena i lista celera, pre i nakon osmotskog tretmana. Spektrofotometrijske metode (FRAP, ABTS i DPPH), za utvrđivanje antioksidativne aktivnosti svežih i osmotski tretiranih uzoraka celera, kao i metoda Folin – Ciocalteu (FC) za određivanje sadržaja ukupnih fenola, rađene su na Poljoprivrednom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Određivanje antioksidativne aktivnosti polarografskim metodama, zasnovanim na klasičnoj polarografiji sa kapajućom Hg-elektrodom (KŽE): HPMC (Hydroxo Perhydroxo Mercury (II) Complex) metoda i MRAP (Mercury Reduction Antioxidant Power) metoda, izvedeno je u elektrohemijskoj laboratoriji Instituta za opštu i fizičku hemiju. Statistička obrada podataka i optimizaciju procesa, urađene su sa ciljem unapređenja efikasnosti osmotskog tretmana i pronalaženja optimalnih procesnih parametara.

3.1. Materijal

Osnovna sirovina na kojoj su sprovedena sva istraživanja je celer (*Apium graveolens L. var. rapaceum*, Alabaster variety), koji je za potrebe ispitivanja kupovan svež iz iste lokalne tržnice, neposredno pre započinjanja eksperimenata. Za ispitivanja su upotrebljeni koren celera čiji je prosečni sadržaj suve materije iznosio $8,754 \pm 0,016\%$ i list sa prosečnim sadržajem suve materije od $13,421 \pm 0,079\%$.

Za pripremu osmotskih rastvora upotrebljene su sledeće sirovine: melasa šećerne repe, komercijalni natrijum hlorid (NaCl), komercijalna saharoza i destilovana voda.

Prehrambena, rafinisana, kuhinjska so (99-99,50% čistoće kristala) i Sunoko kristal šećer (99,70% čistoće kristala) kupovani su u marketu u Novom Sadu.

Za potrebe eksperimenta, melasa šećerne repe nabavljena je iz šećerane u Crvenki, Srbija, i do upotrebe je čuvana u zatvorenim plastičnim posudama na sobnoj temperaturi. Prosečan sadržaj suve materije u melasi, određen refraktrometrom, iznosio je 81,54%.

U tabeli 3.1. prikazan je osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u eksperimentima.

Tabela 3.1. Osnovni hemijski sastav melase šećerne repe primenjene u istraživanju

Sadržaj	
Suva materija, (%)	81,54
Saharoza, (%)	50,07
Ukupni redukujući šećeri, (%)	52,23
Invertni šećer, (%)	0,56
Kalijum, mg/100g	4060,07
Natrijum, mg/100g	590,21
Kalcijum, mg/100g	185,31
Magnezijum, mg/100g	85,39
Gvožđe, mg/100g	4,41
Zink, mg/100g	0,98
Mangan,mg/100g	0,25

3.2. Eksperimentalni postupak osmotske dehidracije

Pre početka eksperimenta, radne površine i alati potrebni za pripremu svežih uzoraka celera i osmotskih rastvora su temeljno očišćeni, oprani i dezinfikovani farmaceutskim etanolom koncentracije 70 % v/v. Pomoću kuhinjskog noža uklonjen je površinski sloj korena celera, i

potom je unutrašnji deo korena sečen u kocke približnih dimenzija 1x1x1 cm. Lišće celera je ručno izdvojeno od stabljike, detaljno oprano i osušeno upijajućim papirom, a potom isečeno makazama na komade približnih dimenzija 1x1cm. Ovako pripremljenim uzorcima korena i lista celera, odmerila se početna masa koja je zavisila od zahteva izvođenja određene analize, i nakon toga uzorci su potopljeni u laboratorijske čase sa pripremljenim osmotskim rastvorima.

Za ispitivanje osmotske dehidracije korena i lista celera primenjena su dva različita osmotska rastvora:

R₁, vodeni rastvor natrijum horida i saharoze,

R₂, melasa šećerne repe.

Osmotski rastvor R₁ pripremljen je električnom propelerskom mešalicom kojom je u potpunosti rastvoreno 350 g komercijalnog, kristalnog NaCl i 1200 g komercijalne, kristalne, saharoze u 1 kg destilovane vode (Collignan i sar., 2001; Qi i sar., 1998). U dobijenom hipertoničnom rastvoru natrijum hlorid i saharoza su na granici rastvorljivosti (www.chem.wisc.edu; www.sugartech.co.za), pa maksimalna koncentracija suve materije osmotskog rastvora R₁ iznosi 60%.

Kao osmotski rastvor R₂ upotrebljena je melasa šećerne repe, početnog sadržaja suve materije 81,54%, koja za potrebe ovog istraživanja nije zahtevala dodatnu pripremu.

U svakom eksperimentalnom postupku osmotskog tretmana, inicijalni maseni odnos biljnog materijala i osmotskog rastvora iznosio je 1:20, kako bi se sprečilo nepoželjno razblaženje medijuma usled otpuštanja vode iz uzoraka celera, koje vodi opadanju pogonske sile za maseni transport kako proces napreduje. Plastičnim mrežicama obezbeđeno je potpuno potapanje uzoraka u osmotski rastvor bez plutanja uzoraka po površini rastvora. Sa ciljem da se izbegne degradacija tkiva celera i efekat kuvanja izabrane su blage temperature (20°C, 35°C i 50°C) koje su održavane konstantnim u inkubatoru (IN 160, Memmert, Schwabach, Nemačka) tokom čitavog procesa. Svi eksperimenti su sprovedeni na atmosferskom pritisku. Ukupno vreme trajanja osmotskog tretmana iznosilo je 5 časova. Kako bi se pratila kinetika promena koje su se desile tokom procesa, uzorkovanje je vršeno u različitim vremenskim intervalima. Osmotski tretirani uzorci korena i lista celera vađeni su iz osmotskih rastvora, nakon 1, 3 i 5 časova trajanja procesa, a zatim ispirani vodom. Nakon ispiranja, voda zaostala na površini materijala upijena je filter hartijom. Svi uzorci, dobijeni nakon osmotske dehidracije, su dalje analizirani prema propisanim metodama za određivanje: kinetičkih parametara procesa, sadržaja suve

materije, aktivnosti vode, mikrobiloške ispravnosti, antioksidativne aktivnosti, boje i sadržaja mineralnih materija.

3.3. Kinetika osmotskog tretmana korena i lista celera

Parametri kojima se najbolje opisuje kinetika osmotskog tretmana su gubitak vode (eng. WL - water loss) i priraštaj suve materije (eng. SG – solid gain). Po definiciji, WL predstavlja gubitak vode koja je difundovala iz biljnog tkiva u rastvor, dok SG predstavlja povećanje sadržaja suve materije uzorka nakon osmotskog tretmana (Shi i Le Maguer, 2002). Da bi se izračunale vrednosti parametara WL i SG, sveži i osmotski tretirani uzorci korena i lista celera su podvrgnuti sledećim analizama:

- merenje mase uzoraka celera vršeno je na preciznoj vagi PLJ 360 M, KERN sa tačnošću $\pm 0,001$ g;
- određivanje suve materije u uzorcima celera vršeno je sušenjem uzoraka do konstantne mase, na temperaturi od 105°C , u sušnici (Instrumentaria Sutjeska, Hrvatska).

Na osnovu dobijenih rezultata merenja, vrednosti parametara sadržaja suve materije (DM), gubitka vode (WL) i priraštaja suve materije (SG) osmotski tretiranih uzoraka korena i lista celera izračunati su na osnovu sledećih jednačina (Shi i Le Maguer, 2002):

Sadržaj suve materije (DM):

$$\text{DM} = \frac{m_d}{m_i} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

Gubitak vlage (WL):

$$\text{WL} = \frac{m_i z_i - m_f z_f}{m_i} \left[\frac{\text{g}}{\text{g}_{i.s.}} \right] \quad (3.2)$$

Prirast suve materije (SG):

$$\text{SG} = \frac{m_f s_f - m_i s_i}{m_i} \left[\frac{\text{g}}{\text{g}_{i.s.}} \right] \quad (3.3)$$

gde su:

m_d - masa suve materije [g];

m_i - masa svežeg uzorka [g početnog uzorka (eng. initial sample); $\text{g}_{i.s.}$];

m_f - masa uzorka nakon osmotskog tretmana [g];

z_i - maseni udeo vode u svežem uzorku $\left[\frac{g}{g_{i.s.}}\right]$;

z_f - maseni udeo vode u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije $\left[\frac{g}{g_{i.s.}}\right]$;

s_i - maseni udeo suve materije u svežem uzorku $\left[\frac{g}{g_{i.s.}}\right]$;

s_f - maseni udeo suve materije u uzorku nakon procesa osmotske dehidracije $\left[\frac{g}{g_{i.s.}}\right]$.

3.4. Metode određivanja a_w vrednosti

Vrednosti aktivnosti vode svežih i osmotski dehidriranih uzoraka korena i lista celera određivane su pomoću uređaja za merenje a_w vrednosti (TESTO 650, Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Nemačka) sa tačnošću od $\pm 0,001$ na temperaturi od 25°C.

3.5. Metode mikrobioloških analiza

- Određivanje prisutnog broja *Salmonella* spp. rađeno je na osnovu standarda SRPS EN ISO 6579:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za otkrivanje *Salmonella* spp.;

-Određivanje prisutnog broja kvasaca i plesni rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 21527-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za određivanje broja kvasaca i plesni, - Deo 2: Metoda brojanja kolonija u produktima kod kojih je vrednost aktivnosti vode manja ili jednaka 0,95;

- Određivanje prisutnog broja *Enterobacteriaceae* rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 21528-2:2009, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja *Enterobacteriaceae* - Deo 2: Metoda brojanja kolonija;

- Određivanje prisutnog broja *Escherichia coli*, rađeno je na osnovu standarda SRPS ISO 16649-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za određivanje broja β -

glukuronidaza pozitivne *Escherichia coli* - Deo 2: Tehnika brojanja kolonija na 44°C pomoću 5-bromo-4-hloro-3-indolil β-D-glukuronida.

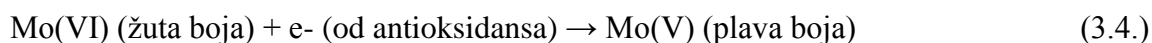
3.6. Određivanje antioksidativne aktivnosti

3.6.1. Priprema ekstrakata za određivanje antioksidativne aktivnosti

Za potrebe određivanja antioksidativne aktivnosti pripremani su vodeni ekstrakti svežih i osmotski dehidriranih uzoraka korena i lista celera. Uzorci su sušeni na temperaturi od 50°C u sušnici (Instrumentaria Sutjeska, Hrvatska), do konstantne mase. Osušeni uzorci su nakon toga fino usitnjeni i sprášeni upotrebom univerzalnog laboratorijskog mlina tipa WZ-1 (Spolem, ZBPP, Bydgoszcz, Poland). 2g dobijenog praškastog materijala za svaki pojedinačni uzorak, ekstrahovano je u 200ml ključale destilovane vode na sobnoj temperaturi (20°C). Nakon ekstrakcije, u trajanju od 10 min, biljni materijal je uklonjen filtriranjem pomoću Whatmann No. 1 filter papira i mehanički isceden. Dobijeni vodeni ekstrakti su čuvani u frižideru (4°C), do dalje upotrebe.

3.6.2. Određivanje sadržaja ukupnih fenola metodom Folin–Ciocalteu (FC)

FC metoda zasniva se na obojenoj reakciji fenola sa Folin-Ciocalteu reagensom. Hemijski sastav Folin-Ciocalteu reagensa nije sa sigurnošću poznat, ali je prihvaćeno da sadrži fosfomolibdensku i fosfovolframovu kiselinu. Reakcija se zasniva na prelazu elektrona sa fenola na molibden, u alkalnoj sredini. Fenoksid jon iz uzorka se oksiduje, a FC reagens redukuje, uz formiranje plavog oksida volframa i molibdena. Intenzitet nastalog plavog obojenja meri se pri 750 nm-765 nm. Do reakcije između antioksidansa i FC reagensa dolazi samo ako je ispunjen uslov alkalnosti (pH ~ 10; Karadag i sar., 2009).



Postupak: Sadržaj ukupnih fenola, odnosno ukupna redukujuća moć u biljnim ekstraktima, je određena pomoću FC metode, modifikovanoj po Singleton-u (1999). U vodene ekstrakte uzoraka korena i lista celera (200 μL) je dodato 1000 μL FC reagensa (Merck, Darmstadt, Nemačka) rastvorenog destilovanom vodom (1:10). Posle 6 min stajanja na tamnom

mestu, dodato je 800 μL rastvora natrijum karbonata (7,5%), u cilju zadovoljenja uslova alkalnosti. Rastvor je promešan i ostavljen 2 h na tamnom mestu. Izmerena je apsorbance na 740 nm, A_{740} . Kao slepa proba korišćena je destilovana voda. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja. Isti postupak ponovljen je za 4 razblaženja ekstrakta, a rezultat je predstavljao njihovu srednju vrednost. Eksperimentalno je utvrđeno da odgovarajuća vrednost razblaženja svakog ekstrakta korena i lista celera (1:10 do 1:5) daje apsorbancu od 0,2 do 0,7 na 740 nm. Od apsorbance svakog uzorka oduzeta je srednja vrednost slepe probe. Isti postupak urađen je za sve 4 koncentracije galne kiseline kao standarda (10, 25, 50, i 100 $\mu\text{g/mL}$), a zatim je konstruisana kalibraciona kriva standarda galne kiseline. Iz jednačine krive izračunat je sadržaj ukupnih fenola u uzorku. Rezultati su izraženi preko ekvivalenta galne kiseline (mg GAE/L) koji odgovara apsorbanci razblaženja ekstrakta na 740 nm. Za sva spektrofotometrijska merenja korišćen je spektrofotometar Helios γ (Thermo Spectronic, Velika Britanija).

3.6.3. Određivanje ukupne redukujuće moći FRAP metodom

Ovo je jedna od najbržih metoda, veoma pogodna za rutinske analize. Zasniva se na redukciji žutog feri-tripiridiltriazin kompleksa (Fe(III)-TPTZ), pri niskoj pH (3,6) i pod uticajem elektron-donirajućih antioksidanasa, u intenzivno plavo obojeni fero kompleks (Fe(II)-TPTZ), sa apsorpcionim maksimumom na 593 nm. Vrednost apsorbance je linearno proporcionalna koncentraciji antioksidanasa u rastvoru, a za konstrukciju standardne krive najčešće se upotrebljavaju rastvori askorbinske kiseline, Trolox-a i FeSO_4 . Jedna FRAP jedinica je definisana kao količina antioksidansa koja je potrebna za redukciju 1 mol Fe(III) u Fe(II). FRAP vrednost za askorbinsku kiselinu i Trolox iznosi 2,0 (Gorjanović i sar., 2012).

Postupak: Metoda je izvedena po modifikovanom postupku Benzie i Strain-a, (1996). Rastvor FRAP reagensa je napravljen mešanjem acetatnog pufera (pH 3,6), TPTZ (10 mM TPTZ rastvora u 40 mM HCl; Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka) i $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ u zapreminskom odnosu 10:1:1, po navedenom redosledu. Svi uzorci, standardi i reagensi, su prethodno inkubirani na 37 °C. Alikvoti od 0,1 mL svakog razblaženja ekstrakta su pomešani sa destilovanom vodom (0,3 mL) i FRAP reagensom (3 mL). Nakon 40 min na 37 °C, izmerena je apsorbance A_{593} . Kalibraciona kriva je konstruisana pomoću rastvora Trolox-a. Slepa proba bila je destilovana voda umesto uzorka i standarda. Iz razlike apsorbancije uzorka i slepe probe

dobijena je apsorbanacija za svaki ekstrakt. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija, i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenata (mM TE).

3.6.4. Određivanje sposobnosti neutralizacije ABTS radikala (TEAC metoda)

Metoda TEAC (engl. Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) temelji se na sposobnosti molekula antioksidanasa da redukuju stabilni ABTS^{•+} [2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonska kiselina)] radikal. TEAC u stvari predstavlja broj ABTS^{•+} radikal katjona koje je neutralisao ili utrošio jedan molekul antioksidansa. Plavo-zeleni katjonski ABTS^{•+} radikal se dobija reakcijom između ABTS i kalijum-persulfata (K₂S₂O₈) i pokazuje apsorpcione maksimume na 645 nm, 734 nm i 815 nm. Dodatkom antioksidanasa, radikal se redukuje, pri čemu dolazi do dekolorizacije, koja je proporcionalna koncentraciji antioksidanasa i trajanju reakcije (Lima i sar., 2005).

Postupak: Metoda je izvedena po modifikovanom postupku Re-a i saradnika (1999). Iste zapremine od 14 mM rastvora ABTS (Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka) i 4,9 mM kalijum persulfata u fosfatnom puferu (pH 7,4), su pomešane u cilju dobijanja stabilnog ABTS^{•+} osnovnog rastvora. Stajanjem na tamnom mestu 12 – 16 h na sobnoj temperaturi osnovni rastvor poprima tamnu plavo-zelenu boju. Radni rastvor ABTS^{•+} pripremljen je razblaživanjem osnovnog rastvora (oko 80 puta) sa fosfatnim puferom, dok nije postignuta apsorbanca od A₇₃₄ $0,7 \pm 0,02$ na $\lambda=734$ nm. Šest minuta nakon dodatka ekstrakata korena i lista celera (30 μ L), odnosno Trolox standarda (2,5; 1,25; 0,63; 0,31; i 0,16 mM Troloksa u fosfatnim puferom) radnom rastvoru izmerena je apsorbanca. Za svaki uzorak i standardni Trolox rastvor konstruisana je kriva zavisnosti inhibicije ABTS^{•+} radikala (procenat pada apsorbanacije) u funkciji koncentracije. Slepa proba bila je destilovana voda, umesto uzorka i standarda. Iz razlike apsorbanacije uzorka i slepe probe dobijena je apsorbanacija za svaki ekstrakt. Antioksidativna aktivnost, dobijena je iz odnosa nagiba krive uzorka i nagiba krive Troloks-a. Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija, i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenata (mM TE).

3.6.5. Određivanje sposobnosti neutralizacije DPPH radikala

Jedna od korišćenih metoda za određivanje antioksidativnih svojstava vodenih ekstrakata uzoraka je neutralizacija DPPH radikala. Princip ove metode zasniva se na tome da antioksidansi reaguju sa slobodnim DPPH^{*} radikalom (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) donirajući mu labilan vodonikov atom iz hidroksilne grupe polifenola i prevodeći ga u stabilnu formu DPPH-H (2,2-difenil-1-pikrilhidrazin), čime se prekida lančana reakcija i zaustavlja oksidacija lipida. Ovaj mehanizam predstavlja najčešći i najjednostavniji mehanizam antioksidativne zaštite prirodnih sekundarnih metabolita. Apsorpciona traka DPPH radikala se nalazi na oko 520 nm, što rastvoru ovog molekula daje intenzivnu ljubičastu boju. Redukcijom u prisustvu elektron-donorskih molekula, koji imaju sposobnost „davanja“ svojih labilnih H atoma molekulu DPPH, dolazi do promene strukture molekula i pomeranja apsorpcionog maksimuma u oblast oko 350 nm, što rastvoru redukovano oblika daje žutu boju. Stepem obezbojavanja ukazuje na antioksidativni potencijal ekstrakta. U slučaju gde su strukture elektron-donorskih vrsta nepoznate (npr. biljni ekstrakti) navedeni metod daje podatke o redukcionom potencijalu uzorka. To je značajno za poređenje redukcionih potencijala poznatih materijala (Goupy i sar., 2003).

Postupak: Korišćena je metoda po Blois-u (1958) sa malim modifikacijama. Praćena je promena apsorbanije na 525 nm preostalog DPPH ljubičaste boje posle reakcije sa antioksidansima uzorka. Radni rastvor se sastojao od $1,86 \times 10^{-4}$ mol/L DPPH (Fluka, Buchs, Switzerland), u etanolu i 0,1 M acetatnog pufera (pH 4,3) u odnosu 2:1 (v/v). Razblaženja biljnih ekstrakata (200 μ L) su pomešana sa 2800 μ L radnog rastvora DPPH. Nakon stajanja navedenog rastvora na tamnom mestu 30 min, izmerena je A₅₂₅. Isti postupak ponovljen je za slepu probu (etanol ili destilovana voda). Merenje se izvodi na sobnoj temperaturi. Kao standard korišćen je rastvor Trolox-a (6-hidroksi-2,5,7,8- tetrametilroman-2-karboksilna kiselina, Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Nemačka). Aktivnost je izražena u % inhibicije izračunatih po jednačini:

$$I\% = \frac{ASP - AUZ}{ASP} \times 100 \quad (3.5.)$$

gde je: I – procenat inhibicije DPPH radikala, ASP - aktivnost slepe probe, AUZ -aktivnost antioksidansa. Iz jednačine krive, koja predstavlja zavisnost % inhibicije DPPH radikala od koncentracije Trolox-a, izračunata je antiradikalska aktivnost. Sva merenja su rađena u tri

ponavljanja, a dobijeni rezultati predstavljaju srednju vrednost tri merenja \pm standardna devijacija, i izraženi su kao mM Trolox-a ekvivalenata (mM TE).

3.6.6. DC polarografsko merenje antioksidativne aktivnosti

Polarografija sa jednosmernom strujom (engl. DC-direct current) pokazala se kao pogodna za primenu u određivanju antioksidativne aktivnosti (Gorjanović i sar., 2012). Dve polarografske metode, zasnovane na klasičnoj polarografiji sa kapajućom Hg-elektrodom (KŽE): HPMC (engl. Hydroxo Perhydroxo Mercury(II) Complex) metoda i MRAP (engl. Mercury Reduction Antioxidant Power) metoda, nedavno su razvijene u elektrohemijskoj laboratoriji Instituta za opštu i fizičku hemiju. Polarografska metoda HPMC, zasnovana je na smanjenju anodne granične struje kompleksa $[\text{Hg}(\text{O}_2\text{H})(\text{OH})]$, koji nastaje u alkalnom rastvoru peroksida na potencijalu rastvaranja Hg, do kog dolazi po dodatku antioksidansa (Sužnjević i sar., 2011). Metoda MRAP, koja takođe primenjuje polarografiju sa jednosmernom strujom, zasniva se na redukciji jona žive. Po dodatku antioksidanasa, dolazi do smanjenja katodne struje redukcije živinih jona (Sužnjević i sar., 2015).

Postupak: Polarografska merenja u ovom radu obavljena su polarografskim uređajem PAR (Princeton Applied Research) 174A sa priključenim X-Y pisačem (Houston Instruments, Omnigraph 2000), za automatsko beleženje polarografskih i-E krivih. Kapacitivna komponenta struje i-E signala suzbijana je filterom instrumenta na poziciji 3 s. Zasićena kalomelova elektroda (Saturated Calomel Electrode- SCE), je korišćena kao referentna, a kao pomoćna platinska elektroda. Početni potencijali kod HPMC i MRAP metoda su 0,10 i 0,20 V vs SCE, po navedenom redosledu. Brzina promene polarizujućeg napona iznosila je 10 mV/s. ClarkLubs (CL) pufer od pH 9,8, pripremljen je mešanjem 25 mL 0,4 M H_3BO_3 , 25 mL 0,4 M KCl i 40,8 mL 0,2 M NaOH (Merck, Darmstadt, Nemačka). Osnovni rastvor za HPMC metodu pripremljen je dodatkom 0,100 mL 1,00 M rastvora H_2O_2 (Belinka - Slovenija) u 19,9 mL CL pufera. Jednake količine od po 20 μL razblaženog (1:2) i nerazblaženog uzorka su postepeno dodavane, kako bi se dobio linearan pad anodne granične struje i_l . Osnovni rastvor za MRAP metodu je pripremljen dodatkom 2 mL 0,01 M HgCl_2 u 18 mL CL pufer. Jednake količine nerazblaženog uzorka (100, 50 ili 25 μL) su postepeno dodavane, kako bi se dobio linearan pad katodne granične struje. Pre svakog snimanja i-E krive (kako za osnovni rastvor, tako i nakon svakog dodatka

ispitivanog uzorka), rastvor je deaerisan i pomešan sa čistim gasom azota, dok je struja istog propuššana iznad rastvora za vreme svakog snimanja. Rezultati polarografskih metoda su izraženi kao nagib linearnog dela krive zavisnosti procenta smanjenja anodne struje kompleksa, odnosno katodne struje, od zapremine ili količine dodatog uzorka.

3.7. Metoda određivanje dominantnih kolornih koordinata L*a*b* uzorka

Za ocenjivanje kolornih parametara uzoraka korena i lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvorima R₁ i R₂, korišćena je metoda izračunavanja digitalnih kolorograma, razvijena u tehničkom rešenju Pezo i sar., 2010. Na osnovu ovog tehničkog rešenja, ispitivani uzorci se postavljaju u komoru, dimenzija 0,15 x 0,20 x 0,15 m, koja je sa svih strana iznutra obložena belim papirnim maramicama, koje služe da se smanji refleksija pri fotografisanju uzorka. U komori su ugrađene dve kratke fluo cevi, postavljene od gore, da bi usmeravale svetlost prema uzorku. Između ove dve cevi, naspram uzorka se postavlja fotoaparat. Slikanje se vršilo uobičajenim porodičnom kamerom, tipa Sony PowerShot A550, koja je postavljena od gore, oko 60 mm od uzorka. Pri fotografisanju je bila uključena makro funkcija aparata, kako bi se dobila digitalna fotografija sa fokusom na uzorak. Sve dobijene slike su bile 24-bitne RGB fotografije (16,8 miliona boja), a rezolucija snimanja je bila 1024 x 768 piksela. Svaki uzorak je 6 puta slikan. Ovako dobijene fotografije prebačene su iz SD memorije fotografskog aparata na računar, na kome se slike obrađuju korišćenjem softverskog paketa, koji je razvijen u okviru tehničkog rešenja. Kolorne informacije sa slike se u računaru transformišu u trodimenzionalni niz celobrojnih vrednosti, u rasponu od 0-255. Slike su u formatu RGB (engl. red, green, blue - crveno, zeleno, plavo), svaka boje ima po 8 bita, a vodilo se računa i o dimenzijama fotografije. U programu se računa učestalost pojavljivanja vrednosti kolornih koordinata i određuje se broj pojavljivanja istih vrednosti kolornih koordinata, a rezultat rada programa je trodimenzionalni niz RGB vrednosti, koje su interno transformisane u XYZ kolorni prostor, a zatim u L*a*b* kolorne koordinate, kako bi rezultati bili uporedivi sa literaturom.

3.8. Metode analize sadržaja mineralnih materija

- Sadržaj kalijuma, magnezijuma i kalcijuma u svežim i osmotski tretiranim uzorcima korena i lista celera određivan je na osnovu standarda SRPS EN ISO 6869:2008, Hrana za životinje -

Određivanje sadržaja kalcijuma, bakra, gvožđa, magnezijuma, mangana, kalijuma, natrijuma i cinka - Metoda atomske apsorpcione spektrometrije (AAS);

-Sadržaj gvožđa u svežim i osmotski tretiranim uzorcima korena i lista celera određen je na osnovu metode FINSLab-5.4-3M-004/13, Određivanje Pb, Cd, As, Zn, Cu, Fe, Sn i Cr u hrani metodom atomske apsorpcione spektrometrije AAS.

3.9. Statistička obrada podataka

3.9.1. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika je upotrebljena za kvantitativno opisivanje proučavanih osobina kako bi se opisali podaci i sagledali njihovi međusobni odnosi. Univarijantna analiza je urađena da bi se utvrdila raspodela promenljivih, uključujući centralnu tendenciju (srednje vrednosti) i disperziju (opsezi, standardne devijacije i varijanse). Rezultati su interpretirani na osnovu Tukey-evog HSD (engl. honestly significant distance) testa, na nivou značajnosti $p < 0,05$, pri nivou poverenja od 95%. Posthoc Tukey HSD test se radi nakon dvofaktorske analize varijanse (ANOVA). Najpre se ANOVA testom određuje uticajnost procesnih parametara (nezavisno promenljivih) na odzive sistema, a Tukey-evim HSD testom se utvrđuje statistička značajnost razlika između srednjih vrednosti pojedinačnih uzoraka, koja je nastala zbog promene vrednosti procesnih parametara. Tukey-ev HSD test pokazuje koliko treba da su udaljene bilo koje dve srednje vrednosti da bi bile statistički različite. Za razliku dve srednje vrednosti veću od standardne devijacije (SD), ovim testom se dokazuje da je statistički značajna. Tukey-evim HSD testom podataka dobijenih različitim laboratorijskim merenjima, ustanovljeno je da je većina uzoraka statistički značajno različita na nivou $p < 0,05$, čime je dokazano da su ispitivani uzorci dovoljno raznoliki da bi se pristupilo statističkoj analizi i matematičkom modelovanju. Deskriptivna statistička analiza, uz pomoć Microsoft Excel 2007 i Statistica 10 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma) softvera, primenjena je za izračunavanje srednjih vrednosti, standardne devijacije i varijanse promenljivih.

3.9.2. Metoda odzivnih površina (RSM - Response Surface Methodology)

Metoda odzivnih površina predstavlja skup matematičkih i statističkih postupaka, koji se primenjuju za formiranje empirijskih modela i analizu procesa. Cilj metode je da se na osnovu pažljivo odabranog eksperimentalnog plana optimizuju odzivi sistema (y) koji zavise od više nezavisno promenljivih parametara (x_1, x_2, \dots, x_k) (Montgomery, 2005). Najčešće je odzivna funkcija y nepoznata, pa se u opštem obliku može napisati (Mayers i Montgomery, 2002):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad (3.6.)$$

gde su x_1, x_2, \dots, x_k nezavisno promenjive veličine, y je odziv ili zavisno promenjiva veličina, a e predstavlja ostale uticajne faktore koji nisu obuhvaćeni funkcijom f (greška merenja, uticaj drugih faktora koji ne ulaze u RSM jednačine...). Promenjive x_1, x_2, \dots, x_k u jednačini (3.6.) se obično predstavljaju pravim vrednostima (npr. 20°C), jer su izražene u mernim jedinicama date nezavisno promenjive. Prilikom primene RSM metode koriste se kodirane vrednosti ulaznih veličina koje su uglavnom bezdimenzione i tada funkcija ima oblik:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.7.)$$

Svaka od jednačina naziva se funkcija odziva, a njen geometrijski prikaz je odzivna površina (Cox i Reid, 2000; Montgomery i Runger, 2003). Odzivi sistema se predstavljaju grafički preko trodimenzionalnih površina ili preko dvodimenzionalnih konturnih grafika. Polinom se pokazao kao odgovarajući oblik odzivne funkcije, s obzirom da se kvalitet fitovanja eksperimentalnih podataka može poboljšati povećanjem stepena polinoma. U većini slučajeva se koriste polinomi prvog ili drugog stepena. Najjednostavniji polinom koji se može primeniti je polinom prvog reda koji u obzir uzima samo linearne uticaje pojedinačnih faktora:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3.8.)$$

Ako je krajnji cilj postupka optimizacija procesa onda je neophodno koristiti polinome drugog reda za opisivanje odabranih odziva. Tada svaki od posmatranih procesnih parametara mora da ima tri ili pet nivoa vrednosti u zavisnosti od primenjenog eksperimentalnog plana. Polinom drugog stepena sa dve promenjive ima oblik:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1 x_2 \quad (3.9.)$$

Polinom drugog stepena je fleksibilna funkcija i može imati različite oblike, dok se parametri jednačine (β_i) jednostavno određuju. Metoda najmanjih kvadrata se može primeniti u ovu svrhu. Osnovni cilj primene metode odzivnih površina je određivanje optimalnih parametara za opisivanje datog procesa. Ukoliko ima više odziva koje je potrebno optimizovati neophodno je naći kompromisno rešenje, tj. naći optimalne uslove za koje će svi posmatrani odzivi biti u definisanom opsegu (Oehlert, 2000). Drugi cilj primene RSM je utvrđivanje promene odziva sistema sa malom promenom procesnih parametara. Osnovna prednost RSM je u tome što je potreban manji broj eksperimentalnih podataka da bi se obezbedio dovoljan broj informacija za određivanje statistički validnih rezultata. RSM jednačine opisuju parametre sistema i njihov uticaj na posmatrane odzive sistema, određuju međuzavisnosti testiranih promenljivih i ispituju kombinovane efekte parametara procesa na posmatrane odzive, omogućavajući da se na efikasan način istraži proces.

U ovom radu, RSM je odabrana za definisanje uticaja procesnih parametara na promenu posmatranih odziva sistema (WL, SG, DM, a_w , FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC, L*, a^* , b^* , K, Ca, Mg, Fe). Korišćen je potpuni faktorijalni eksperimentalni plan sa 2 faktora na tri nivoa: vreme (X_1) od 1, 3 i 5h; temperatura procesa osmotskog tretmana (X_2) od 20°C, 35°C i 50°C, definisano u tabelama 4.1-4.4., u poglavlju 4. Odzivi sistema su označeni kao Y.

Sušтина ovako odabranog eksperimentalnog plana je dobijanje zavisnosti odzivne funkcije od ispitivanih ulaznih veličina u pogodnom obliku, koji će najbolje odgovarati eksperimentalno dobijenim podacima:

$$Y_k = f_k(\text{vreme, temperatura}) \quad (3.10.)$$

Polinom drugog stepena je korišćen za fitovanje eksperimentalnih podataka. Korišćenjem eksperimentalnih podataka dobijene su odzivne funkcije u zavisnosti od 2 ispitana faktora:

$$Y_k^l = \beta_{k0}^l + \sum_{i=1}^2 \beta_{ki}^l \cdot X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{kii}^l \cdot X_i^2 + \beta_{k12}^l \cdot X_1 \cdot X_2, \quad k=1-17, l=1-2 \quad (3.11.)$$

gde su: β_{k0}^l , β_{ki}^l , β_{kii}^l , β_{k12}^l regresioni koeficijenti ; Y_k^l odzivi sistema, X_1 vreme, a X_2 temperatura procesa. Osmotski tretman u rastvoru R_1 u ovom modelu je obeležen sa $l=1$, dok je tretman u rastvoru R_2 označen kao $l=2$.

3.9.3. Analiza glavnih komponenti (PCA- Principal Components Analysis)

Termin analiza glavnih komponenti se odnosi na matematičku metodu za analizu podataka koja gradi linearne višeparametarske modele na osnovu kompleksnog seta podataka. Linearni višeparametarski PCA modeli razvijaju se primenom ortogonalnih baznih vektora, koji se obično nazivaju glavne komponente (Thielemans i Massart, 1985). PCA je višeparametarska matematička metoda u kojoj se ispituju korelacije između promenljivih, a na osnovu toga se broj promenljivih smanjuje i određuju se nove, faktorske koordinate. Ove transformacije (preslikavanja) koordinata izvode se tako da prva faktorska koordinata pokriva najveću moguću varijansu sistema, a analiza se koristi da se obezbedi najveće moguće razdvajanje između grupa (klastera) koje definišu promenljive. Ova metoda prepoznavanja sličnosti među grupama uzoraka se ovde koristi za karakterizaciju i razdvajanje uzoraka na osnovu uočenih osobina uzoraka (tj. na osnovu eksperimentalnih merenja svih promenljivih veličina koje se pripisuju određenom uzorku). PCA omogućava značajno smanjivanje broja promenljivih, kao i detektovanje nekih strukturnih zavisnosti koje postoje između eksperimentalno merenih veličina i različitih uzoraka, što daje sveobuhvatniju sliku. "Auto - skaliranje" se vrlo često koristi za višeparametarsko poređenje različitih kompleksnih uzoraka, pri čemu se uzorci ocenjuju (rangiraju) na osnovu srednje vrednosti i standardne devijacije grupe uzoraka. Pošto jedinice, kao ni skale različitih promenljivih koje opisuju poređene uzorke korena i lista celera nisu iste, potrebno je transformisati podatke svih merenja u tzv. standardne ocene, bezdimenzionalne vrednosti koje se dobijaju iz srednje vrednosti eksperimentalnih (merenih) vrednosti određene veličine za dati uzorak, podeljene sa standardnom devijacijom grupe uzoraka, prema jednačini:

$$\text{Standardna ocena} = (x - \mu)/\sigma \quad (3.12.)$$

pri čemu je x mereni podatak, μ srednja vrednost grupe podataka, i σ standardna devijacija. Celokupan skup podataka se uvodi u PCA analizu u obliku "auto-skalirane" matrice. (Sun i Tanumihardjo, 2007). PCA ortogonalno transformiše eventualno korelisane podatke u skup linearno nekorelisanih promenljivih (glavne komponente). Faktorske koordinate nastaju linearnim transformacijama originalnih promenljivih, tako da prvih nekoliko osnovnih komponenti sadrže veći deo varijabilnosti originalnog seta podataka. Transformacija je definisana tako da prva glavna komponenta ima najveću moguću varijansu (odnosno najveću moguću varijabilnost podataka), a svaka naredna komponenta ima najveću moguću varijansu pod uslovom da bude ortogonalna (tj. u korelaciji) u odnosu na prethodne komponente. Najjednostavnija vrsta PCA deli kovarijansne (odnosno korelacione) matrice na tzv. svojstvene vrednosti (engl. Eigenvalues), obično posle centriranja srednjih vrednosti (i normalizacije) matrica za svaku promenljivu. Sopstvena vrednost meri količinu varijacije koja je opisana pomoću faktorskih koordinata, pri čemu najveći uticaj ima prva osnovna komponenta, a svaka sledeća manji. Sopstvena vrednost veća od 1 ukazuje da PCA uračunava više varijansi nego originalne promenljive, tako da se obično za tumačenje koriste samo te faktorske koordinate. Rezultati PCA analize se obično tumače na osnovu doprinosa (engl. score) promenljivih u komponentama. PCA je najzastupljenija multivarijaciona analiza koja otkriva međusobni odnos podataka na način koji najbolje objašnjava njihovu varijansu (Abdi i Williams, 2010).

U okviru ove teze, PCA analiza je uspešno primenjena da se klasifikuju i odvoje različiti uzorci u faktorskoj ravni (na osnovu merenih vrednosti kinetičkih parametara, mineralnog sastava uzoraka celera, antioksidativne aktivnosti i boje uzoraka celera). Ovi uzorci su dobijeni u procesu osmotske dehidracije, korišćenjem različitih vrednosti procesnih parametara (temperature i vremena imerzije). Primenjena je tehnika prepoznavanja sličnosti na osnovu eksperimentalnih vrednosti da bi se izvršilo klasifikovanje uzoraka. PCA analiza je primenjena uspešno za grupisanje i razdvajanje različitih uzoraka u faktorskoj ravni, na osnovu razlika u merenjima.

3.9.4. Određivanje normalizovanih standardnih ocena

Min-max normalizacija je jedna od najčešće korišćenih tehnika za poređenje različitih kompleksnih uzoraka hrane, čiji kvalitet je određivan korišćenjem višestrukih eksperimentalnih

metoda, pri čemu se uzorci rangiraju na osnovu odnosa merenih i ekstremnih vrednosti određene merene veličine. Pošto su jedinice i rasponi merenih vrednosti za određene merene veličine često različite, podaci u svakoj grupi merenih veličina treba da se normalizuju prema sledećim jednačinama (Prior i sar., 2005; Brlek i sar., 2013):

$$\bar{x}_i = 1 - \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ u slučaju kriterijuma "što veće to bolje"}, \quad (3.13.)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ u slučaju kriterijuma "što manja to bolje"}, \quad (3.14.)$$

pri čemu x_i predstavlja merenu vrednost za određenu metodu.

Normalizovana ocena parametara, koji se računaju na osnovu optimalnih vrednosti, korišćenjem trapezoidne funkcije može se izraziti kao:

$$\bar{x}_i = \begin{cases} \min_i x_i \leq x_i < m, & \frac{x_i - \min_i x_i}{m - \min_i x_i} \\ m \leq x_i < n, & 1 \\ n \leq x_i < \max_i x_i, & 1 - \frac{x_i - n}{\max_i x_i - n} \end{cases}, \quad \forall i, \text{ u slučaju korišćenja optimalnih kriterijuma}, \quad (3.15.)$$

gde su: m i n minimum i maksimum optimalne vrednosti za određenu merenu veličinu. Osrednjavanjem normalizovanih ocena različitih merenih vrednosti, za svaki posmatrani uzorak dobija se jedinstvena vrednost koja se naziva standardna ocena (engl. Standard Score, SS). SS predstavlja specifičnu kombinaciju podataka dobijenih različitim merenim metodama, bez ograničenja određene merne jedinice.

U tabelama 3.2.-3.6. su prikazani intervali optimalnih odziva za kinetičke parametre, pokazatelje antioksidativne aktivnosti, optimalne vrednosti kolornih koordinata, optimalne vrednosti mikrobiotskih parametara i optimalne vrednosti parametara mineralnog sastava.

Tabela 3.2. Optimalne vrednosti kinetičkih parametara

	WL	SG	aw	DM
Polarnost	+	-	-	+
Min.	0,273	0,051	0,775	20,361
Max.	0,796	0,240	0,935	67,486
Opt. min.	0,700	0,051	0,775	60,737
Opt. max.	0,796	0,100	0,800	67,486
Tež. koefic.	0,3			

Tabela 3.3. Optimalne vrednosti pokazatelja antioksidativne aktivnosti

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
Polarnost	+	+	+	+	+	+
Min.	0,910	0,623	0,260	0,018	0,012	0,107
Max.	1,580	1,132	0,479	0,051	0,023	0,169
Opt. min.	1,422	1,019	0,431	0,046	0,021	0,152
Opt. max.	1,580	1,132	0,479	0,051	0,023	0,169
Tež. koefic.	0,3					

Tabela 3.4. Optimalne vrednosti kolornih koordinata

	L*	a*	b*	Napomena
Polarnost	/	/	/	
Min.	8,850	-12,410	10,741	
Max.	63,656	19,134	29,904	
Opt. min.	57,481	-5,777	10,741	za koren
Opt. max.	57,481	-5,777	10,741	za koren
Opt. min.	16,619	-8,675	15,018	za list
Opt. max.	16,619	-8,675	15,018	za list
Tež. koefic.	0,15			

Tabela 3.5. Optimalne vrednosti mikrobioloških parametara

	KP.	Enth.
Polarnost	-	-
Min.	14762	10
Max.	327928	203
Opt. min.	14762	10
Opt. max.	16238	11
Tež. koefic.	0,1	

Tabela 3.6. Optimalne vrednosti parametara mineralnog sastava

	K	Mg	Fe	Ca
Polarnost	-	-	-	-
Min.	2343,398	103,811	5,529	2,077
Max.	9124,756	709,661	5702,380	550,772
Opt. min.	2343,398	103,811	5,529	2,077
Opt. max.	2577,738	114,192	6,082	2,285
Tež. koefic.	0,15			

Standard score (SS) je matematička funkcija čija se vrednost određuje sumiranjem normalizovanih vrednosti za odzive (WL, SG, a_w , DM, pokazatelja antioksidativne aktivnosti FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kolornih koordinata L^* , a^* i b^* , mikrobioloških pokazatelja KP i Enth, kao i sadržaja Na, K, Ca i Mg):

$$SS(t, T) = 0,3 \cdot (\overline{WL} + \overline{SG} + \overline{a_w} + \overline{DM}) + 0,3 \cdot (\overline{FRAP} + \overline{ABTS} + \overline{DPPH} + \overline{HPMC} + \overline{MRAP} + \overline{FC}) \\ + 0,1 \cdot (\overline{UB} + \overline{Enth.}) + 0,15 \cdot (\overline{L^*} + \overline{a^*} + \overline{b^*}) + 0,15 \cdot (\overline{Na} + \overline{K} + \overline{Ca} + \overline{Mg})$$

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Uticaj procesnih parametara na kinetiku procesa, sadžaj suve materije i aktivnost vode osmotski tretiranog korena i lista celera

U tabelama 4.1.-4.4. prikazane su eksperimentalne vrednosti (srednje vrednosti tri merenja sa standardnim devijacijama) praćenih odziva WL, SG, DM i a_w , za koren i list celera dehidriran u dva različita osmotska rastvora R_1 i R_2 , tokom 1, 3 i 5 časova trajanja procesa (parametar t) i na tri različite temperature (parametar T). Eksperimentalni podaci prikazuju promene kinetičkih parametara (WL i SG) u zavisnosti od procesnih parametara (t i T) variranih prema eksperimentalnom planu, kao i srednje vrednosti saržaja suve materije (DM) i aktivnosti vode (a_w) u kontrolnim (svežim) uzorcima, i uzorcima nakon osmotskog tretmana pri istim variranim uslovima procesa. U tabelama su takođe predstavljeni rezultati urađenog post-hoc Tukey-evog HSD testa (engl. „honestly significant differences“), da bi se utvrdila značajnost razlika u srednjim vrednostima ispitivanih odziva sistema (WL, SG, DM i a_w), za pojedinačne uzorke korena i lista celera.

Tabela 4.1. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁

Br.	t	T	WL	SG	DM	a _w
	(h)	(°C)	(g/g i.s.)	(g/g i.s.)	(%)	
0	0	20	0,000±0,000 ^c	0,000±0,000 ^c	8,754±0,016 ^c	0,946±0,008 ^f
1	1	20	0,411±0,001 ^d	0,099±0,000 ^a	27,267±0,142 ^d	0,885±0,007 ^g
2	1	35	0,556±0,005 ^f	0,108±0,001 ^b	34,239±0,297 ^f	0,833±0,006 ^{bcd}
3	1	50	0,584±0,000 ^a	0,101±0,001 ^a	39,242±0,176 ^a	0,809±0,008 ^a
4	3	20	0,464±0,004 ^c	0,121±0,001 ^d	30,301±0,373 ^e	0,867±0,012 ^{fg}
5	3	35	0,625±0,008 ^b	0,124±0,001 ^e	41,498±0,171 ^g	0,851±0,004 ^{def}
6	3	50	0,669±0,005 ^g	0,106±0,001 ^b	47,526±0,356 ^b	0,821±0,003 ^{ab}
7	5	20	0,576±0,008 ^a	0,129±0,001 ^f	38,616±0,210 ^a	0,864±0,006 ^{efg}
8	5	35	0,636±0,006 ^b	0,135±0,001 ^h	47,688±0,348 ^b	0,845±0,006 ^{cde}
9	5	50	0,687±0,006 ^h	0,144±0,001 ^g	53,625±0,371 ^h	0,828±0,008 ^{abc}

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.2. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂

Br. t	T	WL	SG	DM	a _w	
(h)	(°C)	(g/g i.s.)	(g/g i.s.)	(%)		
0	0	20	0,000±0,000 ^c	0,000±0,000 ^b	8,754±0,033 ^b	0,946±0,008 ^f
1	1	20	0,316±0,002 ^d	0,051±0,000 ^c	20,361±0,145 ^c	0,905±0,004 ^c
2	1	35	0,493±0,004 ^f	0,059±0,001 ^d	25,011±0,305 ^a	0,880±0,002 ^a
3	1	50	0,547±0,008 ^g	0,063±0,000 ^a	29,316±0,266 ^d	0,878±0,009 ^a
4	3	20	0,458±0,003 ^e	0,064±0,000 ^a	24,320±0,156 ^a	0,928±0,006 ^d
5	3	35	0,593±0,006 ^a	0,067±0,001 ^e	31,052±0,163 ^e	0,886±0,008 ^a
6	3	50	0,676±0,005 ^b	0,074±0,000 ^f	43,179±0,501 ^g	0,877±0,005 ^a
7	5	20	0,584±0,007 ^a	0,082±0,000 ^g	37,041±0,399 ^f	0,906±0,007 ^c
8	5	35	0,680±0,004 ^b	0,089±0,001 ^h	44,211±0,471 ^h	0,831±0,007 ^b
9	5	50	0,780±0,002 ^h	0,108±0,000 ⁱ	63,021±0,380 ⁱ	0,820±0,004 ^b

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.3. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁

Br.	t	T	WL	SG	DM	a _w
	(h)	(°C)	(g/g i.s.)	(g/g i.s.)	(%)	
0	0	20	0,000±0,000 ^b	0,000±0,000 ^b	13,421±0,079 ^a	0,934±0,004 ^f
1	1	20	0,319±0,001 ^c	0,130±0,001 ^c	33,048±0,229 ^d	0,903±0,013 ^b
2	1	35	0,365±0,002 ^d	0,140±0,002 ^d	28,878±0,235 ^c	0,900±0,002 ^{ab}
3	1	50	0,414±0,003 ^f	0,170±0,002 ^e	26,754±0,106 ^b	0,898±0,007 ^{ab}
4	3	20	0,399±0,005 ^e	0,181±0,003 ^f	34,836±0,350 ^e	0,880±0,002 ^a
5	3	35	0,566±0,004 ^h	0,204±0,001 ^a	44,021±0,454 ^f	0,847±0,010 ^e
6	3	50	0,674±0,005 ⁱ	0,229±0,003 ^g	47,505±0,366 ^h	0,822±0,007 ^d
7	5	20	0,496±0,004 ^g	0,199±0,003 ^a	45,797±0,531 ^g	0,833±0,004 ^{de}
8	5	35	0,700±0,006 ^a	0,204±0,002 ^a	53,638±0,508 ^j	0,780±0,004 ^c
9	5	50	0,712±0,006 ^a	0,240±0,002 ^h	50,697±0,397 ⁱ	0,775±0,007 ^c

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.4. Eksperimentalne vrednosti odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂

Br.	t	T	WL	SG	DM	a _w
		(h)(°C)	(g/g i.s.)	(g/g i.s.)	(%)	
0	0	20	0,000±0,000 ^b	0,000±0,000 ^d	13,421±0,095 ^b	0,934±0,004 ^f
1	1	20	0,273±0,002 ^c	0,111±0,001 ^e	30,996±0,294 ^e	0,935±0,005 ^{ef}
2	1	35	0,315±0,003 ^d	0,131±0,001 ^f	24,772±0,198 ^c	0,914±0,007 ^{cd}
3	1	50	0,375±0,003 ^f	0,145±0,001 ^a	32,930±0,336 ^f	0,897±0,007 ^b
4	3	20	0,344±0,005 ^e	0,146±0,002 ^a	29,078±0,231 ^d	0,922±0,003 ^{de}
5	3	35	0,548±0,003 ^h	0,178±0,002 ^b	40,850±0,105 ^a	0,904±0,004 ^{bc}
6	3	50	0,735±0,008 ^a	0,184±0,001 ^c	62,899±0,201 ^h	0,794±0,005 ^a
7	5	20	0,493±0,004 ^g	0,156±0,002 ^g	40,681±0,431 ^a	0,879±0,002 ^h
8	5	35	0,732±0,010 ^a	0,180±0,001 ^{bc}	59,546±0,542 ^g	0,824±0,003 ^g
9	5	50	0,796±0,010 ⁱ	0,189±0,001 ^h	67,486±0,585 ⁱ	0,790±0,006 ^a

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tukey-evim HSD testom, ustanovljeno je da je većina uzoraka statistički značajno različita na nivou p<0,05, čime je dokazano da su ispitivani uzorci dovoljno raznoliki da bi se pristupilo daljoj statističkoj obradi i matematičkom modelovanju. Na slikama 4.1-4.4., dati su grafički prikazi jednačina polinoma drugog reda (engl. "second order polynomial" - SOP), koji opisuju modele odziva procesa osmotske dehidratacije. Obojene, trodimenzionalne odzivne površine (4.1.-4.4., a-d) prikazuju zavisnost promena praćenih odziva sistema (WL, SG, DM i a_w), od promena ulaznih veličina sistema (t i T). Tumačenjem ovih grafika mogu se definisati trendovi, kao i uticaji procesnih parametara na promenu efikasnosti izvođenja osmotskog tretmana.

4.1.1. Gubitak vode (WL)

Gubitak vode je jedan od najznačajnijih parametara za opisivanje kinetike procesa osmotske dehidratacije. Parametar WL ukazuje na masu vode koja se tokom osmotske

dehidracije ukloni iz tretiranog materijala, u odnosu na masu polaznog uzorka. Gubitak vode i brzina gubitka vode zavise od koncentracije osmotskog rastvora, temperature, vremena imerzije, oblika i geometrije materijala, kao i od odnosa rastvor/materijal (Koprivica, 2013).

Vrednosti WL parametara, prikazani u tabelama 4.1.-4.4., se statistički značajno razlikuju za sve ispitivane uzorke. Očigledno je da se sa povećanjem temperature i produženjem vremena imerzije, statistički značajno povećava količina vode koja se tokom procesa izdvoji iz potopljenih uzoraka korena i lista celera. Više temperature podstiču veću migraciju molekula vode kroz polupropustljivu ćelijsku membranu i kroz kapilare u međućelijskom prostoru lista i korena celera u okolni rastvor (Rastogi i sar, 2002).

Trend povećanja WL je najintenzivniji na početku procesa. Količina izdvojene vode raste sa povećanjem temperature i trajanja procesa. U skladu sa ovim rastućim trendom uočava se da se najveća količina vode izdvojila nakon 5h dehidracije, pri temperaturi od 50°C, za oba primenjena osmotska rastvora, i oba biljna materijala koja su podvrgnuta dehidraciji. Vrednosti gubitka vode iz osmotski dehidriranog korena celera, pri maksimalnim procesnim parametrima (5h i 50°C), iznosile su $0,687 \pm 0,006$ g/g polaznog uzorka, za osmotski rastvor R₁ i $0,780 \pm 0,002$ g/g polaznog uzorka, za osmotski rastvor R₂ (tabela 4.1. i 4.2.), dok su za list celera vrednosti WL na istim parametrima procesa iznosile $0,712 \pm 0,006$ g/g polaznog uzorka za R₁ i $0,796 \pm 0,010$ g/g polaznog uzorka za R₂ (tabela 4.3. i 4.4.).

Na osnovu ovih vrednosti, uočljivo je da se veće količine vode izdvoje iz osmotski dehidriranih uzoraka korena i lista celera, ako se kao osmotski rastvor upotrebi melasa šećerne repe. Rastvori većih koncentracija iskazuju veću pogonsku silu za difuziju vode iz tkiva uzoraka u okolni rastvor (Mišljenović, 2012). Opravdano je što se melasa šećerne repe pokazala kao efikasniji osmotski agens za uklanjanje vode, jer ima veći početni sadžaj suve materije (81,54%), u odnosu na vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida (60% suve materije).

Ipak, nakon prvog sata, veće vrednosti WL su uočene kod uzoraka korena i lista celera dehidriranih u rastvoru R₁ u poređenju sa uzorcima dehidriranim u melasi šećerne repe, na sve tri procesne temperature (20°C, 35°C, 50°C). Ovakav rezultat može biti posledica većeg viskoziteta rastvora melase na početku procesa, što uslovljava veći otpor transportu vode sa površine biljnog materijala. Migrirana voda iz uzorka usled viskoziteta rastvora ostaje u blizini uzorka, lokalno razblažujući rastvor i usporavajući brzinu difuzije, usled manje razlike u koncentracijama vode u uzorku i lokalnom rastvoru. S obzirom da viskozitet rastvora raste sa koncentracijom, a opada sa

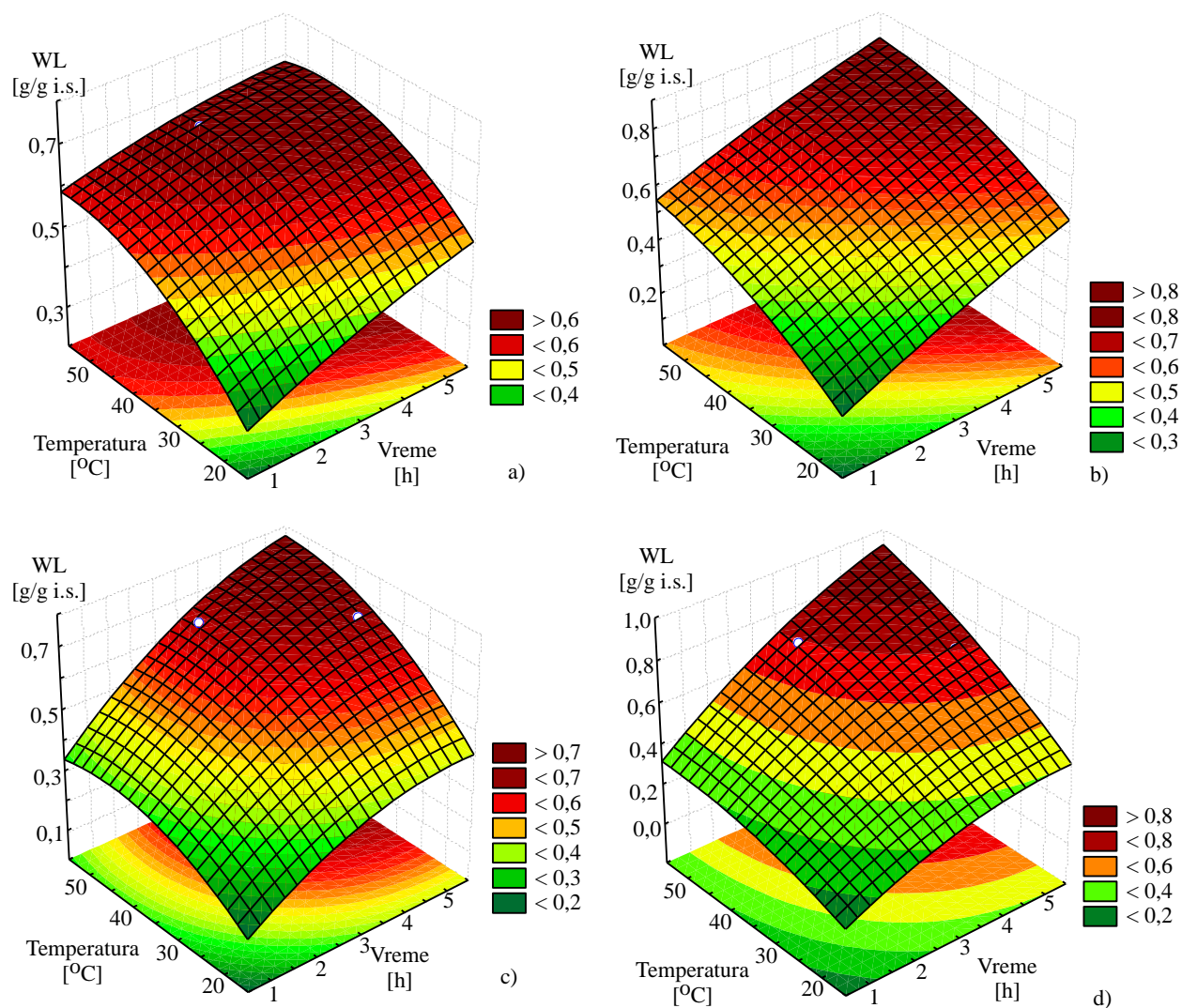
temperaturom, melasa kao visokokoncentrovani rastvor, na sobnoj temperaturi ima veliku vrednost viskoziteta (Mišljenović, 2012; Koprivica, 2013). Zato su najuočljivije razlike u vrednostima parametara WL u zavisnosti od primenjenog rastvora, primetne na temperaturi procesa od 20°C, posle 1h, $0,411 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka u rastvoru R₁ i $0,316 \pm 0,002$ g/g polaznog uzorka u rastvoru R₂, za koren celera i $0,319 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka u rastvoru R₁ i $0,273 \pm 0,002$ g/g polaznog uzorka u rastvoru R₂, za list celera. Primenom viših temperatura tokom osmotskog tretmana smanjuje se viskozitet melase, a time i otpor difuziji molekula vode iz tretiranih biljnih tkiva. Dokazano je da sa povišenjem temperature sa 20 na 50°C, viskozitet melase sa sadržajem suve materije od 78,5% opada sa 5,6 na 0,4 Pas (Šušić i sar., 1995). Dobijeni rezultati (tabele 4.1.-4.4.) pokazuju da se već nakon 3h, na temperaturi od 50°C, uočavaju veće vrednosti gubitka vode za ispitivane uzorke upotrebom rastvora melase tokom procesa dehidracije. Najveći efekat melase na povećanje parametra WL, izražen je posle petog sata procesa, i dobijene vrednosti su statistički značajno veće, u poređenju sa vrednostima WL u rastvoru R₁, za sve tri radne temperature.

Bez obzira na temperaturu i tip rastvora, difuzija vode iz uzoraka je najintenzivnija u prvom času procesa, jer je tada koncentracioni gradijent između potopljenih biljnih tkiva i okolnog rastvora (pogonska sila procesa) najveća. Kako proces dehidracije napreduje, osmotski rastvori se razblažuju vodom koja je difundovala iz potopljenih uzoraka, dolazi do smanjenja koncentracionog gradijenta na dodirnoj površini osmotski rastvor/biljni materijal, pa je manja i pogonska sila za transport molekula vode (Torreggiani, 1993). Usled toga, produženjem trajanja procesa rastu vrednosti gubitka vode, ali manjom brzinom. Nakon trećeg sata procesa brzina migracije molekula vode iz tretiranih uzoraka opada, i porast vrednosti WL ima tendenciju ka stabilizaciji. Posle petog časa dehidracije vrednost WL se približava ravnotežnoj vrednosti, na kojoj se proces izdvajanja vode zaustavlja.

Gubitak vode je veći kod osmotski dehidriranog korena celera u odnosu na uzorke lista celera, u toku prvog časa tretmana, pod istim temperaturnim uslovima (20°C, 35°C i 50°C) i nakon trećeg časa tretmana na temperaturama od 20°C i 35°C. Nakon 3h, pri najvišoj temperaturi od 50°C, i nakon 5h na sve tri procesne temperature, kod lista celera su postignute više vrednosti WL u poređenju sa dobijenim vrednostima za koren celera.

Različite vrednosti gubitka vode u zavisnosti od različitih parametara procesa posledica su različite strukture tkiva korena i lista celera, kao i različitog oblika i geometrije uzoraka.

Kompaktnost biljnog materijala koji se dehidrira je bitna karakteristika, koja utiče na njegove sposobnosti prenosa mase tokom osmotskog tretmana. Kockica korena celera ima čvršću i kompaktniju strukturu, sa većim brojem vlakana unutar tkiva, dok je list tanji, mekši i ima veću specifičnu površinu za prenos mase (Marković i sar., 2009). Ipak, ograničavajući faktor za izdvajanje vode kod lista celera predstavlja prisustvo nepropusnog, voštanog sloja kutikule na gornjoj površini lista, koji usporava maseni transfer. Nakon dužeg izlaganja lista celera osmotskom rastvoru, pri višoj temperaturi dolazi do razaranja kutikule, pa se tek na ovim uslovima procesa uočava veće izdvajanje vode u listu, u odnosu na koren (Giovanelli i sar., 2012).



Slika 4.1. Promena gubitka vode u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Odzivne površine (slika 4.1., a-d) prikazuju zavisnost odziva WL od promena ulaznih parametara, vremena trajanja procesa i temperature procesa u rastvorima R₁ i R₂. Povećanje količine izdvojene vode, sa povećanjem vrednosti procesnih parametara (t i T), uočeno je na sva 4 dijagrama.

Na dijagramu a) uočava se da temperatura procesa ima veći uticaj na izdvajanje vode iz osmotski tretiranih uzoraka korena celera, u poređenju sa uticajem vremena trajanja procesa u rastvoru R₁. Povećanjem temperature procesa u rastvoru R₁, pri konstantnom vremenu imerzije

korena celera, ostvaruju se više vrednosti parametra WL, nego u slučaju variranja vremena imerzije pri konstantnim temperaturnim uslovima. Vrednosti WL ravnomerno rastu sa povećanjem trajanja procesa. U toku prvih 3 sata, povećanje WL parametra je intenzivnije, na sve tri procesne temperature. Nakon trećeg sata vrednosti WL se približavaju ravnotežnoj i gubitak vode se smanjuje.

Uticaji temperature i trajanja procesa su izraženi i podjednako važni za gubitak vode iz korena celera potopljenog u rastvor R₂ (dijagram b). Povećanjem temperature procesa WL raste istim intenzitetom od početka do kraja procesa. Na početku procesa WL intenzivno raste, dok se između trećeg i petog sata intenzitet gubitka vode vidno smanjuje i teži stabilnoj vrednosti.

Na porast WL nakon osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁ podjednako je značajan uticaj oba parametra procesa (t i T). Sa dijagrama c) vidi se da tokom prvog sata procesa temperatura nema veliki uticaj na rast WL parametra, a u narednim satima taj uticaj se znatno povećava. Produženjem trajanja procesa uočljivo se povećavaju vrednosti WL, a povećanje ovog parametra je naročito izraženo na višim temperaturama.

Na osnovu nagiba odzivne površine (slika 4.1., d), uočava se da je uticaj vremena imerzije lista celera izraženiji od uticaja temperature tokom tretmana u rastvoru R₂. U toku prvog i drugog sata dehidracije nema većeg gubitka vode sa povećanjem temperature, a tek nakon trećeg sata na temperaturi od 35°C primetan je značajniji porast WL. Uticaj temperature najizraženiji je u završnim fazama dehidracije.

4.1.2. Priraštaj suve materije (SG)

Pored gubitka vode, za sagledavanje kinetike procesa osmotske dehidracije, bitan je i priraštaj suve materije, koji se ogleda kroz tok materije u suprotnom smeru od toka difuzije vode. Prirast suve materije pokazuje u kojoj meri rastvorene supstance iz vodenog rastvora saharoze i natrijum hlorida i rastvora melase šećerne repe prodiru u tretirane uzorke korena i lista celera tokom osmotskog tretmana (Filipović i sar., 2013; Nićetin i sar., 2015). Stepem prodiranja rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u tretirano tkivo kvantitavno je određen vrednošću parametra SG i posmatra se u odnosu na ukupnu suhu materiju uzoraka, kod oba ispitivana rastvora.

Kada se kao osmotski rastvor koristi vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida kvalitativne karakteristike priraštaja suve materije su poznate, jer u biljno tkivo mogu da

difunduju samo molekuli saharoze i natrijum hlorida. U slučaju primene melase šećerne repe, definisanje sastava suve materije, koja tokom procesa prodire unutar tkiva ispitivanih uzoraka je kompleksno, jer melasa predstavlja višekomponentni sistem. Analiza pojedinačnih komponenti koje iz melase prodiru u biljno tkivo i njihovih udela je težak i kompleksan zadatak, ali značajan posebno u pogledu mogućeg poboljšanja kvaliteta i funkcionalnosti dehidriranog biljnog materijala, s obzirom da melasa obiluje nutritivno vrednim, bioaktivnim i mineralnim materijama.

U tabelama 4.1.-4.4. primetno je da su se eksperimentalno dobijene vrednosti parametra SG statistički značajno razlikovale u zavisnosti od promene vrednosti odabranih procesnih parametara. Variranje ulaznih parametara, vremena i temperature, statistički značajno utiče na prirast suve materije u uzorcima celera, kod sva četiri ispitivana osmotska tretmana.

Priraštaj suve materije (SG) u uzorcima korena i lista celera, osmotski tretiranim u rastvorima R_1 i R_2 , pokazuje tendenciju povećanja sa povećanjem temperature i dužine izvođenja procesa. Više vrednosti SG uslovljene su činjenicom da ćelijska membrana tokom dužeg kontakta sa osmotskim rastvorom više temperature gubi svoju permeabilnost. Izlaganjem visokim temperaturama (do 50°C) dolazi do narušavanja selektivnosti ćelijske membrane, što intenzivira difuziju čak i molekula većih molekulskih masa iz rastvora u biljnu ćeliju (Gekas, 2001). Pored toga, osmotski rastvor impregnira biljno tkivo (prodire u kanale međućelijskog prostora) i istiskuje vazduh iz kanala što svakako utiče na krajnju vrednost priraštaja suve materije (Phisut, 2012).

U skladu sa tim, najveći priraštaj suve materije je uočen na najvišim temperaturama (50°C) za sve analizirane uzorke. Tokom osmotske dehidracije korena celera na temperaturi od 50°C , najveće vrednosti SG postignute su nakon 5h, u rastvoru R_1 ($0,144 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka) i rastvoru R_2 ($0,108 \pm 0,0010$ g/g polaznog uzorka). Pri istim uslovima procesa, uočeni su maksimalani priraštaji suve materije u uzorcima lista celera dehidriranim u rastvoru R_1 ($0,240 \pm 0,003$ g/g polaznog uzorka) i rastvoru R_2 ($0,189 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka).

Poređenjem vrednosti SG datim u tabelama 4.1.-4.4., jasno se uočava da su više vrednosti SG postignute pri osmotskom tretmanu lista, u odnosu na koren celera, pod istim uslovima izvođenja procesa i nezavisno od vrste upotrebljenog osmotskog rastvora. Izraženija difuzija osmotskog rastvorka u tretirano tkivo uzoraka lista, u odnosu na tkivo korena celera, verovatno je posledica razlike u strukturi ovih tkiva. Tkivo korena celera karakteriše kompaktna, čvrsta

struktura, dok je tkivo lista mekše i poroznije, pa je i prodiranje rastvorka lakše. Pored toga veličina međucelijskog prostora kod lista je mnogo veća, nego kod korena celera, što omogućava da veća količina rastvora prodre unutar tkiva (Lewicki i Lenart, 2006).

Već nakon prvog sata tretmana, na najnižoj temperaturi dolazi do brze i intenzivne impregnacije površinskoj sloja tkiva lista celera natrijum hloridom i saharozom iz rastvora R_1 , $0,199 \pm 0,003$ g/g polaznog uzorka, kao i saharozom i različitim osmoaktivnim materijama iz rastvora R_2 , $0,111 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka. Za uzorke korena celera, dobijene su niže vrednosti SG na početku procesa, pri istoj temperaturi od 20°C , $0,101 \pm 0,001$ g/g polaznog uzorka, za rastvor R_1 i $0,063 \pm 0,001$ g /g polaznog uzorka, za rastvor R_2 . Vrednosti SG postepeno rastu daljim povećanjem temperature i produžavanjem procesa, ali manje intenzivno.

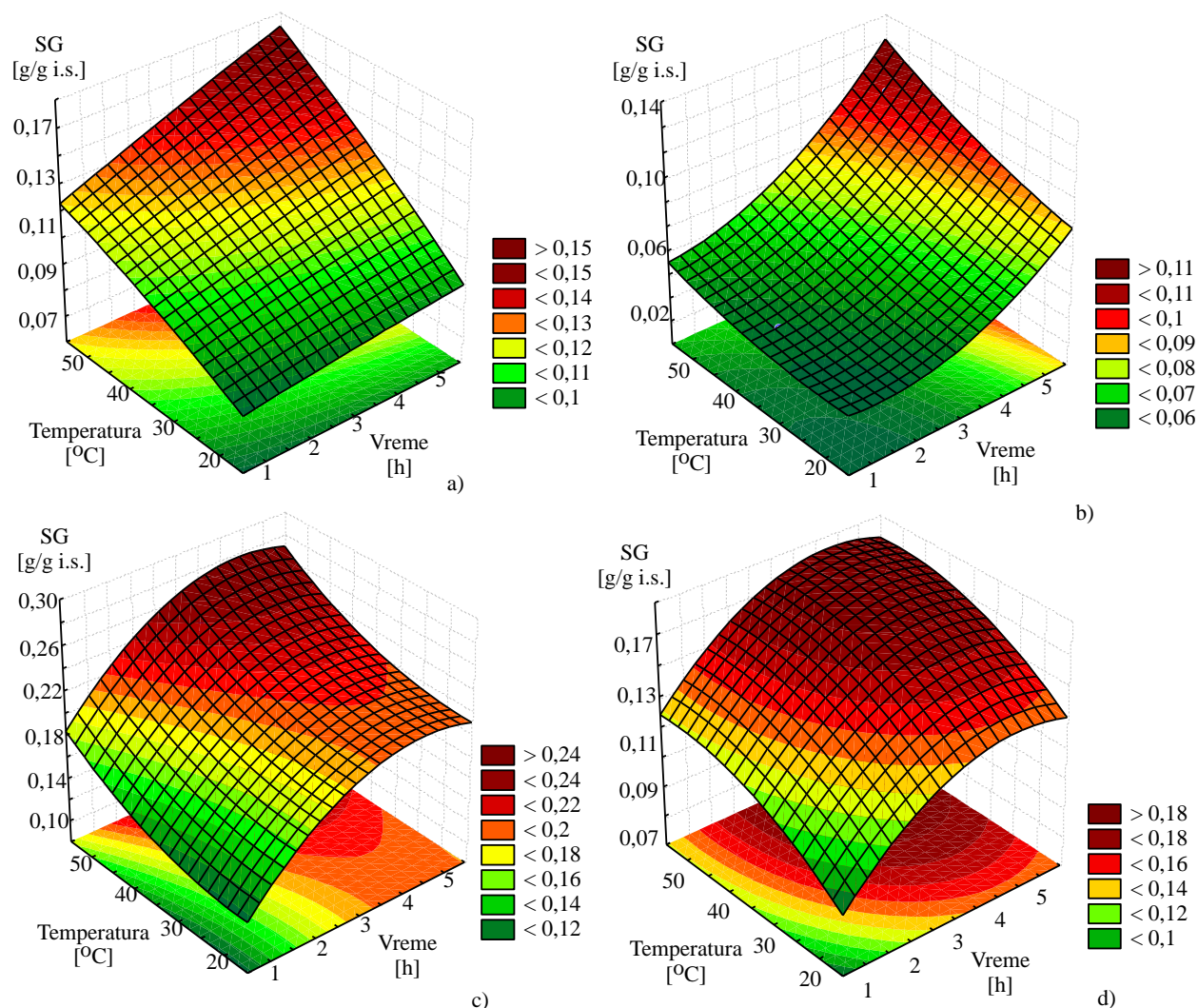
Ako se uporede vrednosti SG u zavisnosti od tipa rastvora kojim su uzorci osmotski tretirani, uočava se da su veći priraštaji suve materije u svim slučajevima postignuti primenom vodenog rastvora šećera i soli, u odnosu na primenu melase šećerne repe. Poznato je da veličina molekula rastvora ima značajan uticaj na odnos gubitka vode i prirasta suve materije. Što je manji molekul rastvorka, on se brže i lakše probija u unutrašnjost tkiva koje se dehidrira (Tortoe, 2010). Molekuli soli, zbog svoje male molekulske mase u većoj meri difunduju u potopljeno tkivo, uzrokujući strukturne promene u ćelijskoj membrani, koje vode povećanju njene permeabilnosti. Povećanje permeabilnosti ćelijske membrane rezultuje povećanim prodiranjem saharoze u tretirane uzorke (Tonon i sar., 2007). Može se pretpostaviti da su veće vrednosti SG u uzorcima tretiranim u rastvoru soli i šećera (R_1) posledica ovog fenomena. U sastav polikomponentne melase šećerne repe ulaze jedinjenja različitih molekulskih veličina i težina, a pored toga u njoj je prisutan manji procenat makromolekula saharoze u poređenju sa rastvorom R_1 .

Sa stanovišta osmotske dehidracije visoke vrednosti priraštaja suve materije nisu poželjne. Osnovni cilj osmotske dehidracije je da se postigne što veće uklanjanje vode iz tretiranog materijala, uz što manji priraštaj suve materije, tj. da odnos gubitak vode/priraštaj suve materije bude što veći (Ćurčić i sar., 2015). Stoga, dobijeni rezultati koju ukazuju na manje vrednosti SG daju prednost upotrebi melase, u odnosu na rastvor šećera i soli u pogledu efikasnosti osmotskog tretmana.

Sa druge strane, prednost upotrebe melase kao osmotskog rastvora ogleda se i u njenom povoljnom uticaju na kvalitet dehidriranog materijala. U list i koren celera, pored molekula

saharoze prodiru i važne mineralne i bioaktivne komponente melase, što je pogodno sa nutritivnog aspekta (Koprivica i sar., 2009).

Zavisnost kinetičkog parametra SG od promene ulaznih pocesnih parametara, predstavljena je grafički preko odzivnih površina na slici 4.2. a-d. Evidentno je da više temperature osmotskog tretmana, uz produženo trajanje procesa pospešuju bolji transfer rastvorka iz osmotskih rastvora u tkiva lista i korena celera, uzrokujući veće vrednosti priraštaja suve materije.



Slika 4.2. Promena priraštaja suve materije u zavisnosti od temperature i vremena procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Na priraštaj suve materije kod uzoraka korena celera, osmotski tretiranih u rastvoru R_1 , veoma izražen uticaj ima temperatura procesa (slika 4.2., a), za razliku od vremena trajanja procesa. Promene nastale povećanjem temperature procesa znatno su veće u odnosu na promene nastale povećanjem vremena imerzije, što je posebno uočljivo na višim temperaturama procesa. Na temperaturi od 20°C nije zapažena veća promena u parametru SG, tokom čitavog petočasnog procesa. Temperatura od 35°C , uzrokuje porast vrednosti SG nakon trećeg časa procesa. Na temperaturi od 50°C , porast SG je intenzivan, od početka do kraja procesa.

U slučaju osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 , uočava se da promene procesnih parametara, temperature i vremena nisu mnogo uticale na promenu SG vrednosti (dijagram 4.2., b). Dinamika priraštaja suve materije je različita, pa se vrednosti SG za uzorke dehidrirane na nižim temperaturama i u početnoj fazi procesa nisu bitno razlikovale. Nasuprot tome, vrednosti SG postignute nakon 3h na temperaturi od 35°C , kao i na temperaturi od 50°C , između 3h i 5h, su značajno povećane. Uticaj vremena trajanja procesa, na priraštaj suve materije korena celera, dolazi do izražaja tek na višim temperaturama, što je i očekivano s obzirom na veliki viskozitet ovog rastvora.

Dijagram 4.2., c opisuje zavisnost odziva SG od promene temperature i vremena imerzije lista celera u rastvoru R_1 . Na osnovu nagiba prikazane odzivne površine uočava se da na priraštaj suve materije veći uticaj ima vreme imerzije, u odnosu na temperaturu. Produžavanjem vremena imerzije lista u rastvoru R_1 , pri konstantnoj temperaturi, ostvaruju se izraženija povećanja parametra SG, nego u slučaju promene temperature, pri konstantnom vremenu imerzije. Već tokom 1h procesa uočava se intenzivno prodiranje rastvorene supstance iz osmotskog rastvora R_1 u potopljeno tkivo, na temperaturi od 20°C , a povećanje temperature procesa u ovom vremenskom intervalu, ne doprinosi porastu SG. Produženjem vremena imerzije, posle trećeg sata porast SG je izražen, naročito u završnim fazama procesa, a najveća vrednost suve materije zapažena je na temperaturi od 50°C , nakon petog sata procesa.

Uticaji temperature i trajanja procesa su izraženi i podjednako važni za priraštaj suve materije lista celera potopljenog u rastvor R_2 (dijagram 4.2., d). Isti trend intenzivnog i ravnomernog rasta SG primećuje se posmatranjem promena vremena imerzije i temperature procesa. Sa produženjem trajanja procesa i povišenjem temperature povećava se i stepen prodiranja rastvorka u potopljeni uzorak lista. U skladu sa tim trendom, najveće vrednosti SG dobijaju se na najvišim vrednostima procesnih parametara ($t=5\text{h}$, $T=50^{\circ}\text{C}$).

Može se uočiti da je u ranijim stadijumima procesa WL osteljiviji na rast temperature nego SG, najverovatnije zbog različitih mehanizama difuzije (Mišljenović, 2012). Na početku procesa pogonska sila za maseni transfer je velika, a struktura tretiranog tkiva još nepromenjena. Kako proces napreduje, izlaganje osmotskom stresu uzrokuje neka oštećenja u strukturi tkiva, koja utiču na fenomen prenosa mase. Usvajanje osmotskog rastvorka događa se uglavnom putem difuzije kroz intercelularne prostore, i ovaj mehanizam usvajanja suve materije minimalno doprinosi gubitku vode, koji se uglavnom odigrava putem osmoze između ćelija (Atares i sar., 2011). Razlika u difuzivnosti vode i rastvorka, posledica je i razlike u veličini molekula (Lazarides i sar., 1995; Torregiani, 1993).

4.1.3. Sadržaj suve materije (DM)

Na osnovu DM parametara može se pratiti koliko se povećao sadržaj suve materije u ispitivanim uzorcima nakon osmotskog tretmana, u odnosu na polazni sadržaj suve materije u uzorcima.

U tabelama 4.1.-4.4. je prikazana promena sadržaja suve materije u uzorcima korena i lista celera nakon 1h, 3h i 5h potapanja u dva različita osmotska rastvora različite koncentracije (rastvor soli i šećera sa 60% suve materije i melasa šećerne repe sa 81,54% suve materije), na tri različite temperature (20°C, 35°C i 50°C). Uočava se da se promenom uslova izvođenja procesa dehidracije statistički značajno menjao i krajnji sadržaj suve materije u korenu i listu celera.

Prosečni početni sadržaj suve materije u korenu celera iznosio je $8,754 \pm 0,016\%$. Rezultati iz tabela 4.1.-4.2. pokazuju da se postupkom osmotske dehidracije sadržaj suve materije korena celera može povećati od 2,3 do 7,2 puta.

Evidentno povećanje sadržaja suve materije je rezultat kako uklanjanja vode (dehidracija), tako i prodiranja suve materije iz rastvora u biljno tkivo (impregnacija). Pod impregnacijom se podrazumeva istiskivanje vazduha iz međućelijskog prostora parenhimskog tkiva biljne sirovine i ispunjavanje tog prostora koncentrovanim osmotskim rastvorom u koji je potopljeno, kao i prodiranje rastvorka kroz polupropustljivu ćelijsku membranu u unutrašnjost ćelija biljnog tkiva (Mišljenović, 2012). Zbog toga, vrednosti parametra DM direktno zavise od dobijenih vrednosti za kinetičke parametar WL i SG, na svim ispitivanim procesnim parametrima. Stepenn povećanja DM zavisi i od uslova pod kojima je izveden postupak (vreme

trajanja procesa i radna temperatura), kao i od vrste primenjenog osmotskog rastvora (tabele 4.1-4.4), što odgovara podacima iz literature (Mišljenović i sar., 2012; Koprivica, 2013).

Produženjem vremena trajanja procesa i povećanjem radnih temperatura postiže se viši sadržaj suve materije u dehidriranom korenu celera. Najniži sadržaj suve materije ($20,361 \pm 0,145\%$) je izmeren u korenu celera tretiranom u rastvoru melase šećerne repe, na temperaturi od 20°C , nakon prvog sata. Na ovim procesnim uslovima, zapažen je i najmanji gubitak vode, i manji stepen prodiranja suve materije iz rastvora, pa se najniža vrednost DM, kao i u prethodnim razmatranjima, pripisuje velikom viskozitetu melase na nižim temperaturama i u samom početku procesa.

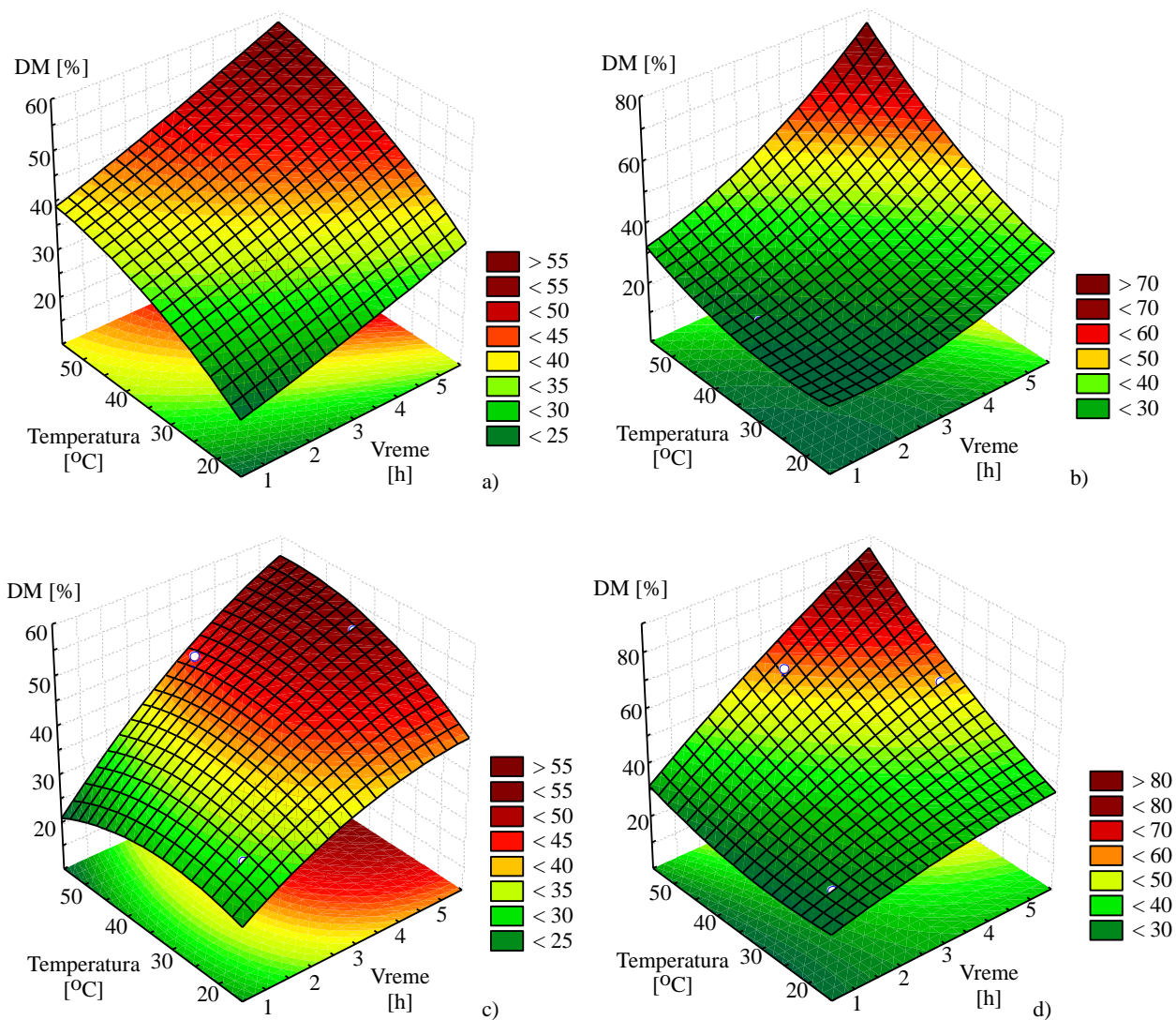
Najviši sadržaj suve materije ($63,021\% \pm 0,380\%$) imao je koren celera dehidriran u melasi šećerne repe na najvišoj temperaturi, posle svih pet sati procesa. U ostalim slučajevima za koren celera, primenom rastvora R_1 dobijena je nešto veća vrednost parametra DM, u poređenju sa primenom rastvora melase. Ovo je verovatno posledica postignutih većih vrednosti parametra SG, za sve ispitivane uzorke korena celera tretiranih u rastvoru R_1 .

Pre osmotske dehidracije prosečni sadržaj suve materije u uzorcima lista celera iznosio je $13,421 \pm 0,079\%$. Nakon osmotske dehidracije sadržaj suve materije je povećan od 1,9 do 5,1 puta, tabele 4.3.-4.4.

Sa povećanjem trajanja i temperature procesa povećava se i krajnji sadržaj suve materije u listu celera. Najveći sadržaj suve materije za list celera, isto kao i za koren, postignut je nakon petočasnog procesa, izvedenog na 50°C , u rastvoru melase šećerne repe i iznosio je $67,486 \pm 0,079\%$. Takođe, uzorci lista celera dehidrirani na najvišoj temperaturu u melasi šećerne repe imaju veći sadržaj suve materije u odnosu na iste, dehidrirane u rastvorima natrijum hlorida i saharoze, bez obzira na vreme trajanja procesa, što je posledica kako razlike u koncentracijama rastvora, tako i razlike u sastavu pomenutih rastvora. Melasa šećerne repe je koncentrovaniji i po sastavu kompleksniji rastvor, višeg osmotskog pritiska koji uzrokuje veći gubitak vode (Cvetković, 2014), a time i veće vrednosti DM u uzorcima lista celera. Na nižim temperaturama, u uzorcima dehidriranim u rastvoru R_1 , postižu se više vrednosti suve materije, jer je manji viskozitet rastvora, a samim tim i manji otpor prenosu mase tokom dehidracije (veći SG i WL parametri).

Na slici 4.3. a-d grafički su prikazani uticaji procesnih parametara temperature i vremena na DM vrednosti osmotski dehidriranog korena i lista celera. Na sva četiri dijagrama primećen je

isti trend povećanja vrednosti DM sa povećanjem vrednosti procesnih promenljivih (temperature i vremena), što je u saglasnosti sa eksperimentalnim rezultatima (tabele 4.1-4.4).



Slika 4.3. Promena sadržaja suve materije u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Na dijagramu 4.3. a) primetan je izražen uticaj parametara temperature i vremena trajanja procesa na povećanje sadržaja suve materije u korenu celera dehidriranom u rastvoru R_1 . Uočava se pravilan porast parametra DM, sa porastom vrednosti za oba procesna parametra.

Isti trend uticaja parametara temperature i vremena kao i na dijagramu 4.3. a) uočen je i prilikom osmotskog tretmana za koren celera u rastvoru R_2 (dijagram 4.3. b). Porastom oba procesna parametra statistički značajno se utiče na porast sadržaja suve materije u korenu celera tretiranom u oba osmotska rastvora (tabela 4.1-4.4). Razlika se ogleda u tome što su postepenim povećanjem vremena i temperature postignute veće vrednosti parametra DM za uzorak korena celera tretiran u rastvoru R_1 , u odnosu na onaj tretiran u rastvoru R_2 . Izuzetak od ovog pravila, uočava se na najvišim vrednostima procesnih parametara ($t=5h$, $T=50^\circ C$), u rastvoru R_2 , gde je primetan veliki porast vrednosti DM. Crveno obojen gornji deo odzivne površi koja opisuje zavisnost DM od ulaznih parametara (dijagram 4.3.b) ukazuje na jaku interakciju temperature i trajanja procesa, kao i na to da se najviše vrednosti DM dobijaju na visokoj temperaturi, u završnom stadijumu procesa.

Na osmotski tretman lista celera u rastvoru R_1 , veoma važan uticaj na porast DM ima dužina trajanja imerzije. To se uočava na osnovu nagiba odzivne površine koja opisuje promenu sadržaja suve materije u listu celera u zavisnosti od promene temperature i vremena procesa (dijagram 4.3. c). Variranjem vremena imerzije, pri konstantnim temperaturnim uslovima postižu se značajnije promene u sadržaju suve materije lista tretiranog rastvorom R_1 . Povećanje temperature, pri konstantnom vremenu izvođenja osmotskog tretmana, takođe utiče na povećanje DM parametra, ali ne toliko izraženo.

Na dijagramu 4.3. d) koji predstavlja promenu kretanja vrednosti DM u funkciji promene procesnih parametara (t i T), opaža se podjednako izražen uticaj oba parametra procesa na sadržaj suve materije u listu celera tretiranom rastvorom R_2 . U početnim fazama tretmana, kao i na nižim temperaturama, vrednost DM naglo raste u odnosu na početni sadržaj suve materije netretiranog lista celera, ali nije se mnogo menjala sa promenom uslova izvođenja tretmana. Tek na višim temperaturama ($35^\circ C$ i $50^\circ C$), posle 3h i 5h procesa dolazi do izražajnijeg porasta parametra DM u tretiranom listu.

Sa smanjenjem sadržaja vode i sa prodiranjem rastvorka u biljno tkivo raste sadržaj suve materije. Povećanje vremena i temperature utiče na povećanje sadržaja suve materije, pri čemu je uticaj vremena izraženiji od uticaja temperature. Uticaj temperature na DM je izraženiji u

kasnijim fazama procesa nego na početku, i tada je povećanje vrednosti DM više posledica prodiranja rastvorka u uzorak, nego gubitka vode (dehidratacije). Usled dužeg izlaganja visokim temperaturama dolazi do narušavanja permeabilnosti ćelijske membrane, što intenzivira difuziju osmoaktivnih supstanci iz rastvora u biljne ćelije (Koprivica, 2013).

Sa porastom vrednosti procesnih parametara, temperature i vremena trajanja procesa intenzivira se prenos mase između tretiranog materijala i osmotskog rastvora, kako vode koja difunduje iz materijala, tako i suve materije koja difunduje iz osmotskog rastvora u materijal (Filipović i Lević, 2014). Stoga je i očekivano da parametri osmotske dehidratacije (DM, WL i SG) kojima se karakteriše transfer mase kroz dva suprotna toka materije, postignu maksimalne vrednosti upravo pri maksimalnim vrednostima procesnih parametara (t i T), i to u koncentrovanijem osmotskom rastvoru, tj. u melasi šećerne repe.

4.1.4. Aktivnost vode (a_w)

Koren i list celera imaju veoma visok sadržaj vode (oko 90%), pa su podložni različitim mikrobiološkim, biohemijskim i hemijskim promenama koje im narušavaju kvalitet i smanjuju održivost. Zbog visokog procenta vode, upotreba celera, kako kao sveže namirnice u ishrani, tako i u raznim granama prehrambene industrije je ograničena.

Osmotskom dehidratacijom moguće je ukloniti veliki deo prisutne vode (više od 50%), ali je bitno tokom dehidratacije kontrolisati i promenu vrednosti aktivnosti vode, s obzirom da aktivnost vode više nego ukupan sadržaj vlage, utiče na mikrobiološki profil i stabilnost dehidriranog materijala (Figura i Teixeira, 2007).

U tabelama 4.1.-4.4. predstavljene su srednje vrednosti a_w parametara, izmerenih u svežim uzorcima korena i lista celera, kao i u uzorcima dehidriranim pri variranim uslovima procesa. Srednje vrednosti a_w se kod svih dehidriranih uzoraka statistički značajno razlikuju u poređenju sa srednjim vrednostima u početnim uzorcima, a takođe se i većina uzoraka tretiranih pri različitim procesnim parametrima, između sebe statistički značajno razlikuju u pogledu prosečnih a_w vrednosti.

Aktivnost vode u svežim uzorcima korena celera prosečno je iznosila $0,946 \pm 0,004$. S obzirom da je aktivnost vode značaj faktor održivosti, ovako velika vrednost ukazuje na kratku održivost korena celera. Kod svih ispitanih uzoraka sadržaj slobodne vode se smanjuje, što se vidi na osnovu a_w vrednosti, koja je u svim slučajevima manja u odnosu na svež uzorak.

Sniženje aktivnosti vode osmotskim tretmanom korena celera u rastvoru R_1 se kretalo od $0,885 \pm 0,007$ do $0,809 \pm 0,008$ (tabela 4.1.). Najveća a_w vrednost ($0,885 \pm 0,007$) uočena je na najnižoj temperaturi od 20°C , nakon prvog časa tretmana, ali je postignuto sniženje u odnosu na svež uzorak dovoljno da rast i razvoj većine bakterija u uzorcima osmotski tretiranog korena celera bude onemogućen (granična a_w vrednost ispod koje prestaje rast većine bakterija je $0,91$; Kessler, 2002). Kod osmotski tretiranih uzoraka korena celera tretiranim u istom rastvoru na višim temperaturama, nezavisno od trajanja procesa, pored bakterijskog onemogućen je i rast i razvoj većine kvasaca (a_w vrednost za limitiranje rasta većine kvasaca je ispod $0,88$; Kessler, 2002).

Na osnovu vrednosti prikazanih u tabeli 4.2. primetno je da se a_w uzoraka korena celera, tretiranih u rastvoru R_2 , u odnosu na polaznu a_w vrednost snižavala u rasponu od $0,928 \pm 0,004$ do $0,820 \pm 0,004$. Najniža temperatura tokom osmotskog tretmana u rastvoru melase (20°C) nije mnogo uticala na sniženje aktivnosti vode: $0,905 \pm 0,004$ nakon 1h, $0,928 \pm 0,006$ nakon 3h i $0,906 \pm 0,006$ nakon 5h. Postignute a_w vrednosti nisu dovoljno niske da bi se rast mikroorganizama ograničio. Primenom viših temperatura, bez obzira na dužinu tretmana, ostvaraju se a_w vrednosti ispod graničnih za metaboličko delovanje većine bakterija i kvasaca. Kao i u prethodnim razmatranjima očekivano je da uticaj rastvora melase na snižavanje aktivnosti vode, više dolazi do izražaja na višim temperaturama, usled smanjenja početne viskoznosti melase.

Poređenjem rezultata u tabelama 4.1. i 4.2., opaža se da se primenom rastvora R_1 tokom osmotskog tretmana mogu postići niže a_w vrednosti, u poređenju sa primenom rastvora melase. Ova pojava je verovatno uslovljena većim priraštajem rastvorenih supstanci (SG) koje iz rastvora R_1 prodiru u tkivo uzorka i menjaju mu hemijski sastav. Poznato je da aktivnost vode u najvećoj meri zavisi od hemijskog sastava namirnice i nije određena ukupnim sadržajem vode u njoj. Koji deo od ukupne vode će biti u slobodnom stanju u velikoj meri zavisi od hemijskog sastava suve materije, čije komponente imaju različitu sposobnost vezivanja vode (Modi, 2009). Pri istoj molarnoj koncentraciji najveći kapacitet vezivanja vode imaju jonske komponente (naročito soli natrijuma i kalijuma), manji je kod nejonizovanih jedinjenja sa malom relativnom molekulskom masom kao što su šećeri, zatim slede jedinjenja velike molekulske mase koja sadrže jonizovane grupe tj. proteini i peptidi, a najmanji kapacitet vezivanja vode imaju visokomolekularne komponente koje sadrže polarne grupe, a to su dekstrin, skrob, celuloza, pektin (Figura i

Teixeira, 2007). Stoga se može pretpostaviti da natrijum hlorida i saharoza koji difunduju iz rastvora R_1 , više utiču na vezivanje vode u unutrašnjoj strukturi korena celera, pri čemu smanjuju udeo slobodne vode i na taj način se dobijaju niže a_w vrednosti.

Aktivnost vode u svežem listu celera, pre početka osmotskog tretmana iznosila je $0,934 \pm 0,008$. U svim tretiranim uzorcima uočeno je sniženje aktivnosti vode koje se statistički značajno razlikovalo u odnosu na početnu vrednost netretiranog uzorka (tabele 4.3. i 4.4.).

Nakon dehidracije u rastvoru R_1 , smanjenje vrednosti a_w lista celera se kretalo od $0,903 \pm 0,013$ do $0,775 \pm 0,007$, u zavisnosti od uslova dehidracije. Nakon prvog sata dehidracije u rastvoru R_1 se ne postiže značajniji konzervišući efekat, ali se produžavanjem procesa snižava aktivnost vode ispod inhibirajućih vrednosti za rast i razvoj većine bakterija i kvasaca (tabela 2.1.; Rahman, 2009). Nakon 5 h na višim procesnim temperaturama (35°C i 50°C) dobijene su krajnje vrednosti, niže od 0,8 čime je ograničena mikrobiološka aktivnost i većine plesni (Kessler, 2002).

Za list celera dehidriran u rastvoru R_2 , a_w vrednost uzoraka se kretala od $0,935 \pm 0,005$ do $0,790 \pm 0,006$. List dehidriran u rastvoru melase, u početnim fazama procesa, na temperaturama od 20 i 35°C ima i dalje visoku a_w vrednost, pogodnu za odvijanje metaboličkih reakcija svih mikroorganizama, pa je moguće brzo mikrobiološko kvarenje. Petočasovnom dehidracijom na istim temperaturama dobijaju se uzorci dovoljno niske a_w vrednosti koje onemogućavaju rast i razvoj kako većine bakterija, tako i kvasaca ($0,879 \pm 0,002$ i $0,824 \pm 0,003$, respektivno). U uzorcima dehidriranim na najvišoj temperaturi (50°C) nakon 3 h vrednost je snižena na $0,794 \pm 0,005$, a nakon 5h na $0,790 \pm 0,006$, što je ispod graničnih vrednosti za delovanje većine bakterija, kvasaca i plesni (Rahman, 2009).

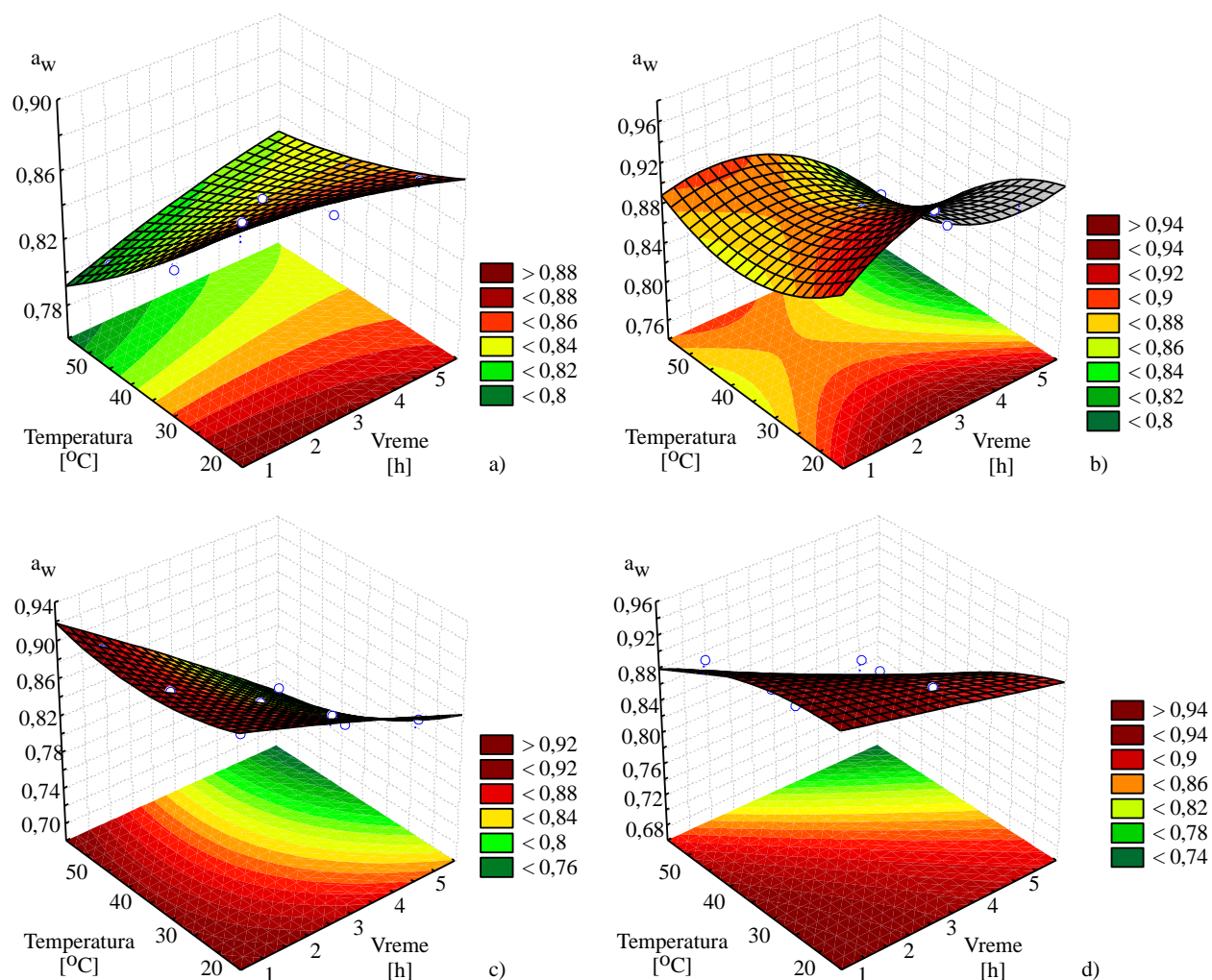
Ako se uporede dobijeni rezultati u zavisnosti od tipa upotrebljenog osmotskog rastvora, očigledno je da su pod istim uslovima izvođenja procesa, niže a_w vrednosti dobijene primenom rastvora R_1 , u poređenju sa rastvorom R_2 . Moguće objašnjenje je isto kao i za uzorke korena celera, i zasniva se na činjenici da se značajno veći priraštaj suve materije u listu celera postiže nakon osmotskog tretmana u rastvoru R_1 , kao i na većem uticaju komponenti suve materije iz rastvora (soli i šećera) na vezivanje vode tj. smanjivanje udela slobodne vode. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima Filipović, (2013), gde je najniža a_w vrednost svinjskog mesa postignuta nakon osmotske dehidracije u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida (R_1).

Početna aktivnost vode svinjskog mesa $0,926 \pm 0,013$, smanjena je postupkom osmotske dehidracije u rastvoru R_1 na $0,793 \pm 0,009$, dok je minimalna a_w vrednost mesa osmotski dehidriranog u melasi šećerne repe iznosila $0,811 \pm 0,010$.

Ako se posmatraju rezultati u zavisnosti od vrste biljnog materijala koji je osmotski tretiran, primećuju se veća sniženja aktivnosti vode u uzorcima lista celera, u odnosu na koren, nakon 5 h i na višim radnim temperaturama. S obzirom da svež list sadrži manje vode od korena (tabele 4.1-4.4), niža mu je i početna a_w vrednost. Pored toga su i vrednosti parametra SG za tretiran list celera u oba rastvora veće u poređenju sa tretiranim korenom, što utiče na veće smanjenje ukupnog udela slobodne vode u tretiranom listu i samim ti na niže krajnje vrednosti a_w parametra .

Prethodna diskusija pokazuje da se primenom osmotskog tretmana na najvišim procesnim parametrima može ograničiti rast i razvoj većine bakterija, kvasaca i plesni. Međutim, osmotski tretirani list i koren celera i dalje su podložni mikrobiološkom kvarenju od strane halofilnih bakterija, kserofilnih plesni i osmofilnih kvasaca (tabela 2.1.).

Odzivne površine razvijenih matematičkih modela prikazane na slici 4.4., pokazuju zavisnost vrednosti aktivnosti vode od radne temperature i vremena imerzije tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u rastvorima R_1 i R_2 . Za svaka četiri slučaja (a-d), uočava se smanjenje a_w vrednosti, sa povećanjem temperature i produženjem trajanja osmotskog tretmana .



Slika 4.4. Promena aktivnosti vode u zavisnosti od temperature i vremena procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Na osnovu izgleda odzivne površine predstavljene na dijagramu 4.4. a) vidi se da na promenu aktivnosti vode korena celera koji se tretira u osmotskom rastvoru R₁, veoma izražen uticaj ima procesna temperatura, dok vreme trajanja procesa nije pokazalo veliki uticaj. Na istoj temperaturi, variranjem parametra vremena imerzije, aktivnost vode uzoraka opada, ali se dobijene a_w vrednosti međusobno značajno ne razlikuju. Postepenim povećanjem temperature, pri konstantnim vrednostima trajanja procesa, opadaju a_w vrednosti tretiranog korena celera.

Uticaj oba procesna parametara, kako temperature tako i vremena, važan je i podjednako izražen na promenu aktivnosti vode u uzorcima korena celera potopljenim u osmotski rastvor R₂.

Na temperaturi od 20°C, u svim fazama procesa uočavaju se veće a_w vrednosti, u odnosu na vrednosti postignute na višim temperaturama, koje su značajno niže.

Za slučaj osmotskog tretiranja lista celera u rastvoru R_1 (dijagram 4.4. c), primetan je važan uticaj oba ispitivana procesna parametra na promenu parametra a_w , pri čemu je uticaj vremena trajanja procesa više izražen. Promenom dužine trajanja osmotskog tretmana, pri konstantnim temperaturnim uslovima procesa, u većoj meri dolazi do snižavanja vrednosti aktivnosti vode treniranih uzoraka lista celera. Nakon 5h procesa, na višim temperaturama uočavaju se najniže a_w vrednosti.

Uticaj temperature i vremena imerzije na aktivnost vode u uzorcima lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_2 , izražen je i približno jednak (dijagram 4.4. d). Na nižim procesnim temperaturama vrednosti aktivnosti vode su još uvek relativno visoke, ali sa povećanjem temperature, kao i produžavanjem vremena trajanja procesa, može se uočiti nagli pad a_w vrednosti.

Kako bi se proverila i potvrdila higijenska i zdravstvena bezbednost procesa osmotskog tretmana korena i lista celera urađena je analiza mikrobioloških profila tretiranih uzoraka, prikazana u poglavlju 4.2. Na ovaj način se dobija i potpunija slika u pogledu održivosti i stabilnosti krajnjih proizvoda osmotske dehidracije.

4.1.5. Matematički modeli odziva WL, SG, DM i a_w tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Metod odzivne površine (RSM) primenjen je sa ciljem određivanja modela procesa osmotske dehidracije korena i lista celera u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 .

U tabelama 4.5., 4.8., 4.11. i 4.14. prikazani su rezultati analize varijanse (ANOVA) modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata, dobijenih tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 . Na osnovu ovih rezultata analizirani su statistički značajni uticaji procesnih parametara, kao i njihove međuzavisnosti na odzive matematičkih modela. Kao model odzivnih površina korišćen je polinom drugog reda (SOP) u obliku jednačine (3.11.), radi predviđanja funkcije (3.10.), za sve procesne parametre, odnosno nezavisno promenljive veličine.

4.1.5.1. Model osmotskog tretmana korena celera u rastvorima R_1 i R_2

U tabeli 4.5. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za odzive WL, SG, a_w i DM dobijene tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 . Modeli odziva su formirani na osnovu eksperimentalnih vrednosti odziva i vrednosti ulaznih promenljivih (t i T), prema usvojenom eksperimentalnom planu. Rezultati ANOVA pokazuju uticaj članova polinoma (linearani i kvadratni) za nezavisno promenljive t i T , kao i člana međuzavisnosti ovih promenljivih ($t \times T$) na odzive WL, SG, a_w i DM, na nivou statističkih značajnosti $p < 0,01$, $p < 0,05$ i $p < 0,10$. Na osnovu ovih rezultata može se izvesti i zaključak o značajnosti uticaja procesnih parametara na posmatrane odzive.

Iz tabele se vidi da na formiranje polinoma drugog reda svih modelovanih odziva (WL, SG, a_w i DM) linearani član temperature procesa ima statistički značajan uticaj, na nivou $p < 0,01$. Za izračunavanje WL najveći uticaj ima linearni član T , ali je primetan i uticaj linearnog člana t , statistički značajan na nivou $p < 0,05$. Testiranjem odziva SG utvrđeno je da temperatura ima najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG ($p < 0,01$), a nešto manje izražen statistički značajan uticaj ima i kvadratni član t ($p < 0,05$). Ostali članovi polinoma ne doprinose statistički značajno formiranju SOP modela za izračunavanje SG. ANOVA pokazuje da je jedini član polinoma koji ima statistički značajan uticaj na formiranje modela odziva a_w linearni član T (na nivou $p < 0,01$). Član polinoma koji ukazuje na interakciju vremena i temperature procesa $t \times T$, doprinosi izračunavanju SOP modela za izračunavanje vrednosti a_w , ali sa malom statističkom značajnošću, na nivou $p < 0,10$. Na osnovu rezultata u tabeli 4.5. može se zaključiti da, prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 , oba linearna člana (t i T) imaju statistički značajan uticaj na formiranje SOP modela za izračunavanje DM, na nivou ($p < 0,01$). Kvadratni članovi polinoma, kao i član proizvoda $t \times T$, nisu statistički značajni za predikciju DM.

Tabela 4.5. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	WL	SG	a_w	DM
t	1	$2,01 \cdot 10^{-2*}$	$7,88 \cdot 10^{-5}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$	255,853 ⁺
t ²	1	$2,45 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-4*}$	$9,27 \cdot 10^{-6}$	0,228
T	1	$3,98 \cdot 10^{-2+}$	$1,56 \cdot 10^{-3+}$	$4,09 \cdot 10^{-3+}$	325,740 ⁺
T ²	1	$3,32 \cdot 10^{-3}$	$2,45 \cdot 10^{-6}$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	5,863
t × T	1	$9,25 \cdot 10^{-4}$	$4,01 \cdot 10^{-5}$	$3,99 \cdot 10^{-4**}$	2,302
Greška 3		$2,65 \cdot 10^{-3}$	$6,18 \cdot 10^{-5}$	$1,89 \cdot 10^{-4}$	5,519

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

U tabeli 4.5. je prikazana i greška modela, koja predstavlja odstupanje modela od izmerenih vrednosti odziva sistema. Ukoliko je greška modela statistički značajna, SOP model ne opisuje adekvatno proces osmotske dehidracije tj. izračunate vrednosti modela ne poklapaju se sa eksperimentalnim vrednostima (Mišljenović, 2012). Analiza je pokazala da vrednosti greške modela nisu statistički značajne, što ukazuje da se rezultati sva četiri modela, na zadovoljavajući način poklapaju sa eksperimentalnim vrednostima.

U tabeli 4.6, prikazane su vrednosti regresionih koeficijenata polinoma drugog stepena, za sve posmatrane odzive sistema, kao i statistička značajnost svakog koeficijenta. Regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti. Na osnovu poznatih regresionih koeficijenata moguće je izračunati vrednost odziva, ukoliko su vrednosti ulaznih veličina poznate (Ćurčić i sar., 2015).

Tabela 4.6. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_1

	WL	SG	a_w	DM
β_0	0,037±0,123	0,062±0,019*	0,947±0,033 ⁺	8,023±5,613
β_1	0,063±0,037	0,016±0,006**	-0,008±0,010	1,873±1,665
β_{11}	-0,003±0,005	-0,003±0,001*	-0,001±0,001	0,084±0,240
β_2	0,020±0,007**	0,001±0,001	-0,004±0,002	0,948±0,308**
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	-0,008±0,004
β_{12}	-0,001±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000**	0,025±0,023

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

**Značajan na nivou $p < 0,10$

Tabela 4.7. prikazuje rezultate rezidualne analize, koja je urađena da bi se potvrdila pretpostavka da razlike između eksperimentalnih i izračunatih vrednosti zadovoljavaju kriterijum homogenosti varijanse, tj. da su ove razlike nezavisne, da imaju normalnu raspodelu i da je srednja vrednost razlika bliska nuli (Arsenović i sar., 2015). Srednje vrednosti razlika za odzive WL, SG, a_w i DM bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Ovakvi rezultati pokazuju da model na odgovarajući način predstavlja eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 , pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%. Dobre osobine za generalizaciju modela pokazane su parametrima Skew. (engl. Skeweness - krivljenje), koja predstavlja odstupanje od normalne raspodele i Kurt. (Kurtoisis), koji predstavlja odstupanje od "nazubljenosti" normalne raspodele (Arsenović i sar., 2015).

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i r^2_{adj}), prikazane u tabeli 4.7. ukazuju na pouzdanu predikciju odziva WL, SG, a_w i DM koji opisuju osmotski tretman korena celera u rastvoru R_1 , na osnovu rezultata modela prikazanog u tabeli 4.6 i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.7. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_1

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,003	0,026	0,000	6,030	0,960	0,894	-0,534	-1,359	0,000	0,018	0,000
SG	0,000	0,004	0,000	4,527	0,970	0,919	-0,571	-1,273	0,000	0,003	0,000
a_w	0,000	0,007	0,000	0,975	0,960	0,893	-0,396	-0,570	0,000	0,005	0,000
DM	5,519	1,175	0,000	4,260	0,991	0,975	-0,551	-0,384	0,000	0,831	0,690

U tabeli 4.8. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 . Na osnovu rezultata uočava se da oba ispitivana procesna parametra, vreme i temperatura procesa, statistički značajno utiču na vrednosti WL, a_w i DM. Na formiranje modela u obliku polinoma drugog reda sva tri odziva (WL, a_w i DM), statistički značajno utiču linearni članovi t i T , na nivou $p < 0,01$. Pored velikog uticaja ova dva linerna člana polinoma SOP modela za izračunavanje WL, ostali članovi (kvadratni članovi t i T , i član proizvoda $t \times T$) nemaju statistički značajan uticaj. Za predikciju vrednosti a_w u SOP modelu, svi ostali članovi polinoma, kvadratni članovi t i T , i član proizvoda $t \times T$ imaju statistički značajan uticaj, na nivou $p < 0,05$. Na formiranje SOP modela za izračunavanje DM, pored najveće uticajnosti linearnih članova t i T , uočava se i značajan uticaj proizvoda ovih procesnih parametara, tj. nelinearnog člana $t \times T$, na nivou $p < 0,05$.

S druge strane, na formiranje modela odziva SG, temperatura nema izražen statistički značajan uticaj (linearni član T , na nivou $p < 0,10$), dok kvadratni član vremena procesa, statistički značajno doprinosi formiranju modela odziva SG, na nivou ($p < 0,01$). I u prethodnoj ANOVA analizi, za osmotski tretman korena celera u rastvoru R_1 , zapažen je statistički značajan uticaj kvadratnog člana vremena. Statistička značajnost kvadratnog člana vremena u analizama odziva SG za osmotski tretman korena celera u rastvorima R_1 i R_2 , ukazuje da se vrednosti odziva SG ponašaju po kvadratnoj zavisnosti sa parametrom vremena procesa.

Tabela 4.8. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu korena celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	WL	SG	a_w	DM
t	1	$7,90 \cdot 10^{-2+}$	$3,23 \cdot 10^{-5}$	$1,91 \cdot 10^{-3+}$	807,009 ⁺
t ²	1	$1,81 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-3+}$	$1,44 \cdot 10^{-3*}$	26,546 ^{**}
T	1	$6,92 \cdot 10^{-2+}$	$6,47 \cdot 10^{-4**}$	$4,46 \cdot 10^{-3+}$	482,299 ⁺
T ²	1	$1,63 \cdot 10^{-3}$	$3,42 \cdot 10^{-4}$	$7,86 \cdot 10^{-4*}$	15,478
t × T	1	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$8,88 \cdot 10^{-4*}$	72,465 [*]
Greška	3	$1,34 \cdot 10^{-3}$	$2,68 \cdot 10^{-4}$	$1,67 \cdot 10^{-4}$	12,626

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman korena celera u rastvoru R_2 u zavisnosti od t i T.

Iz tabele 4.8. se vidi da greška modela, koja nastaje usled nepoklapanja rezultata predloženog modela sa eksperimentalno dobijenim podacima nije statistički značajna, na osnovu čega se zaključuje da razvijeni modeli opisuju eksperimentalne rezultate na adekvatan način.

U tabeli 4.9. regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za odzive WL, SG, a_w i DM su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost koeficijenta je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.9. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

	WL	SG	a_w	DM
β_0	-0,036±0,088	0,091±0,039	0,970±0,031 ⁺	30,920±8,489 [*]
β_1	0,082±0,026 ^{**}	0,029±0,012 ^{**}	0,049±0,009 [*]	-4,632±2,518
β_{11}	-0,002±0,004	-0,006±0,002	-0,007±0,001 [*]	0,911±0,363 ^{**}
β_2	0,017±0,005 [*]	-0,004±0,002	-0,006±0,002 ⁺	-0,693±0,466
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺	0,012±0,006
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 ⁺	0,142±0,034

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Srednje vrednosti razlika za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Ovakvi rezultati pokazuju da model na odgovarajući način predstavlja eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 , pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%.

Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i $r^2_{adj.}$), prikazane u tabeli 4.10. ukazuju na pouzdanu predikciju WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman korena celera u rastvoru R_2 , na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.9 i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.10. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,001	0,018	0,000	4,161	0,991	0,976	0,130	-0,315	0,000	0,013	0,000
SG	0,000	0,008	0,000	16,128	0,889	0,704	-0,453	-1,502	0,000	0,006	0,000
a_w	0,000	0,006	0,000	0,973	0,983	0,954	-0,460	-0,653	0,000	0,005	0,000
DM	12,626	1,777	0,000	7,029	0,991	0,976	-0,043	-0,563	0,000	1,256	1,578

4.1.5.2. Model osmotskog tretmana lista celera u rastvorima R_1 i R_2

U tabeli 4.11. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 . Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj imaju linearni članovi t i T , statistički značajno na nivou $p < 0,05$. Ostali članovi polinoma, ne utiču statistički značajno na formiranje modela odziva WL. Na formiranje polinoma drugog reda za odziv SG, statistički značajno doprinosi jedino linearni član vremena, na nivou uticajnosti ($p < 0,01$).

Za izračunavanje a_w najveći uticaj ima linearni član vremena (statistički značajan na nivou $p < 0,01$). Takođe, značajno utiče i linearni član temperature, na nivou $p < 0,05$. U SOP modelu za predikciju DM, samo linearni član vremena pokazao se kao statistički značajan ($p < 0,05$). Ostali članovi polinoma drugog reda nisu pokazali statističku značajnost za formiranje modela odziva DM.

Tabela 4.11. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM pri osmotskom tretmanu lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	WL	SG	a_w	DM
t	1	$1,09 \cdot 10^{-1*}$	$6,95 \cdot 10^{-3+}$	$1,63 \cdot 10^{-2+}$	629,368*
t^2	1	$4,12 \cdot 10^{-3}$	$6,22 \cdot 10^{-5}$	$4,63 \cdot 10^{-6}$	10,748
T	1	$5,49 \cdot 10^{-2*}$	$3,48 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-3*}$	21,186
T^2	1	$4,41 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-4}$	11,580
$t \times T$	1	$2,99 \cdot 10^{-3}$	$5,68 \cdot 10^{-4}$	$6,85 \cdot 10^{-4}$	31,323
Greška	3	$9,9610^{-3}$	$1,2110^{-3}$	$4,6110^{-4}$	73,464

+Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

** Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Na osnovu rezultata u tabeli 4.11. primetno je da greške modela nisu statistički značajne ni za jedan od ispitivanih modela odziva sistema, što znači da primenjeni modeli adekvatno opisuju promene WL, SG, a_w i DM, u zavisnosti od radne temperature i vremena trajanja osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 .

Vrednosti regresionih koeficijenata SOP modela, za četiri posmatrana odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 , kao i statistička značajnost tih koeficijanata prikazana je u tabeli 4.12. Regresioni koeficijenti su predstavljeni kao srednja vrednost \pm standardna devijacija, a statistička značajnost rezultata je izražena preko preko p - vrednosti.

Tabela 4.12. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

	WL	SG	a_w	DM
β_0	-0,110 \pm 0,238	0,353 \pm 0,083*	0,972 \pm 0,051 ⁺	15,455 \pm 20,477
β_1	0,104 \pm 0,071	-0,005 \pm 0,025	-0,009 \pm 0,015	5,334 \pm 6,075
β_{11}	-0,011 \pm 0,010	0,001 \pm 0,004	0,000 \pm 0,002	-0,580 \pm 0,875
β_2	0,018 \pm 0,013	-0,011 \pm 0,005**	-0,003 \pm 0,003	0,594 \pm 1,124
β_{22}	0,000 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000	-0,011 \pm 0,016
β_{12}	0,001 \pm 0,001	0,000 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000	0,093 \pm 0,082

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

** Značajan na nivou $p < 0,10$

Srednje vrednosti razlika za odzive WL, SG, a_w i DM bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Pošto su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%, može se zaključiti da model na odgovarajući način predstavlja eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 . Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i r^2_{adj}), prikazane u tabeli 4.13 ukazuju na pouzdanu predikciju WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman lista celera u rastvoru R_1 , na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.12. i na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.13. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotski tretman lista celera u rastvoru R_1

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Skew.	Kurt.	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,010	0,050	0,000	13,092	0,946	0,857	0,316	-1,610	0,000	0,035	0,001
SG	0,001	0,017	0,000	11,900	0,890	0,707	-0,426	-0,396	0,000	0,012	0,000
a_w	0,000	0,011	0,000	1,687	0,977	0,939	-0,437	-1,494	0,000	0,008	0,000
DM	73,464	4,286	0,000	14,471	0,906	0,748	-0,094	-1,150	0,000	3,030	9,183

Na osnovu rezultata merenja, formirani su matematički modeli, u obliku polinoma drugog stepena za predikciju vrednosti odziva WL, SG, a_w i DM za osmotski tretman lista celera u rastvoru R_2 u zavisnosti od t i T.

Tabela 4.14. ANOVA modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	WL	SG	a_w	DM
t	1	$1,87 \cdot 10^{-1+}$	$3,21 \cdot 10^{-3+}$	$1,08 \cdot 10^{-2*}$	1040,548*
t^2	1	$4,08 \cdot 10^{-3}$	$6,15 \cdot 10^{-4+}$	$1,55 \cdot 10^{-7}$	4,747
T	1	$1,05 \cdot 10^{-1*}$	$1,85 \cdot 10^{-3+}$	$1,08 \cdot 10^{-2*}$	652,272*
T^2	1	$1,67 \cdot 10^{-3}$	$1,30 \cdot 10^{-4**}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	10,478
$t \times T$	1	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$3,37 \cdot 10^{-7}$	$6,60 \cdot 10^{-4}$	154,633
Greška	3	$1,53 \cdot 10^{-2}$	$4,36 \cdot 10^{-5}$	$2,63 \cdot 10^{-3}$	187,612

+Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, *Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

** Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

U tabeli 4.14. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenih SOP modela za izračunavanje WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 . Rezultati ANOVA u tabeli pokazuju da u SOP modelu za izračunavanje WL najveći uticaj ima linearni član t, statistički značajan na nivou $p < 0,01$, a veoma uticajan je i linearni član T ($p < 0,05$). Kvadratni članovi nezavisno promenljivih t i T, kao i član njihove međuzavisnosti, ne utiču značajno na formiranje modela odziva WL. Statistički značajan uticaj u SOP modelu za izračunavanje SG

imaju linearni član t , kvadratni član t^2 i linearni član T . Sva tri člana na istom nivou uticajnosti $p < 0,01$, doprinose formiranju SOP modela za izračunavanje SG.

Na formiranje modela polinoma drugog reda za predikciju odziva a_w i DM, utiču linearni članovi t i T , na istom nivou statističke značajnosti $p < 0,05$. Kvadratni članovi t^2 i T^2 , kao i nelinearni član $t \times T$, nisu statistički značajni za predikciju odziva a_w i DM.

Greške modela, prikazane u tabeli 4.14., kao mera odstupanja matematičkih modela od izmerenih eksperimentalnih vrednosti, nisu statistički značajne ni za jedan odziv. Ovo ukazuje na to da primenjeni modeli za predikciju WL, SG, a_w i DM adekvatno opisuju osmotski tretman lista celera u rastvoru R_2 .

U tabeli 4.15., prikazani su regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za sva četiri odziva tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 , preko srednje vrednosti i standardne devijacijom, a statistička značajnost koeficijenata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.15. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

	WL	SG	a_w	DM
β_0	-0,095±0,296	0,015±0,016	0,937±0,122 ⁺	29,424±32,724
β_1	0,097±0,088	0,038±0,005 ⁺	-0,006±0,036	1,642±9,708
β_{11}	-0,011±0,013	-0,004±0,001 ⁺	0,000±±0,005	-0,385±1,398
β_2	0,013±0,016	0,004±0,001 [*]	0,002±0,007	-0,639±1,797
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000 ^{**}	0,000±0,000	0,010±0,025
β_{12}	0,002±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000	0,207±0,132

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

Srednje vrednosti razlika za odzive WL, SG, a_w i DM bile su oko 0, a standardne devijacije razlika, kao i varijansa razlika takođe su bile bliske 0. Modeli na odgovarajući način predstavljaju eksperimentalne podatke procesa osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 , jer su rezidualne vrednosti pokazale dobro poklapanje sa normalnom raspodelom, oko nulte srednje vrednosti, u okviru granice poverenja od 95%. Niske vrednosti parametara χ^2 , RMSE, MBE i MPE, kao i visoka vrednost koeficijenta determinacije (r^2 i r^2_{adj}), prikazane u tabeli 4.16

ukazuju na pouzdanu predikciju WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 , na osnovu modela prikazanog u tabeli 4.15. i ukazuju na dobro poklapanje vrednosti dobijenih ovim modelom sa eksperimentalnim rezultatima.

Tabela 4.16. Rezidualna analiza matematičkih modela za predikciju odziva WL, SG, a_w i DM tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

	χ^2	RMSE	MBE	MPE	r^2	$r^2_{adj.}$	Sr.vred.	SD	Var.
WL	0,015	0,062	0,000	17,853	0,953	0,874	0,000	0,044	0,002
SG	0,000	0,003	0,000	2,729	0,993	0,980	0,000	0,002	0,000
a_w	0,003	0,026	0,000	3,901	0,895	0,721	0,000	0,018	0,000
DM	187,612	6,849	0,000	22,059	0,908	0,756	0,000	4,843	23,452

4.2. Mikrobiološka analiza osmotski tretiranog korena i lista celera

Postignute a_w vrednosti korena i lista celera nakon osmotskog tretmana (poglavlje 4.1., tabele 4.1.-4.4.), u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 su ispod inhibirajućih a_w vrednosti za rast većine mikroorganizama, što je jasan pokazatelj uticaja ovog procesa na poboljšanje mikrobiološkog profila tretiranih uzoraka.

Mikrobiološkom analizom uzoraka korena i lista celera, pre i posle osmotskog tretmana, dobija se detaljniji uvid i potvrda pozitivnog uticaja osmotskog tretmana na tretirane uzorke, sa higijenskog i zdravstvenog aspekta.

U tabelama 4.17.-4.20. prikazani su rezultati mikrobiološke analize (srednje vrednosti tri ponavljanja sa standardnim devijacijama) za sveže uzorke korena i lista celera, kao i uzorke dehidrirane u dva različita osmotska rastvora R_1 i R_2 , tokom 1, 3 i 5 časova trajanja procesa i na tri različite temperature 20, 35 i 50°C. U tabelama su takođe predstavljeni rezultati urađenog post-hoc Tukey-evog HSD testa, kako bi se utvrdila statistička značajnost razlika u srednjim vrednostima ispitivanih pokazatelja mikrobiološkog profila između pojedinačnih uzoraka korena i lista celera, u zavisnosti od promene procesnih parametara.

Tabela 4.17. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁

Parametri osmotskog tretmana korena celera		Kriterijum bezbednosti hrane	Kriterijum higijene u procesu proizvodnje		
		<i>Salmonella spp</i> (negativno/10g)	Kvasci i plesni (CFU*/g)	<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	<i>Escherichia coli</i> (CFU/g)
Svež koren celera		0±0 ^a	740±60 ^g	1100±110 ⁱ	0±0 ^a
1h	20°C	0±0 ^a	500±30 ^f	770±70 ^h	0±0 ^a
1h	35 °C	0±0 ^a	440±60 ^c	640±50 ^g	0±0 ^a
1h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	500±30 ^f	0±0 ^a
3h	20 °C	0±0 ^a	270±20 ^d	430±30 ^e	0±0 ^a
3h	35 °C	0±0 ^a	170±10 ^b	370±40 ^d	0±0 ^a
3h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	240±20 ^b	0±0 ^a
5h	20 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	300±20 ^c	0±0 ^a
5h	35 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	240±20 ^b	0±0 ^a
5h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	200±20 ^a	0±0 ^a

^{a-1}Različita slova u eksponentu vrednosti u istim kolonama ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou p<0,05 (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

*CFU – Colony Forming Unit (broj jedinica koje formiraju kolonije)

Tabela 4.18. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂

Parametri osmotskog tretmana korena celera		Kriterijum bezbednosti hrane	Kriterijum higijene u procesu proizvodnje		
		<i>Salmonella spp</i> (negativno/10g)	Kvasci i plesni (CFU/g)	<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	<i>Escherichia coli</i> (CFU/g)
Svež koren celera		0±0 ^a	740±110 ^f	1100±40 ^f	0±0 ^a
1h	20°C	0±0 ^a	440±30 ^e	540±30 ^e	0±0 ^a
1h	35 °C	0±0 ^a	240±30 ^d	430±40 ^d	0±0 ^a
1h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
3h	20 °C	0±0 ^a	200±10 ^b	500±60 ^e	0±0 ^a
3h	35 °C	0±0 ^a	170±10 ^c	340±0 ^c	0±0 ^a
3h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
5h	20 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	240±20 ^b	0±0 ^a
5h	35 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
5h	50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a

^{a-f}Različita slova u eksponentu vrednosti u istim kolonama ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou p<0,05 (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

Tabela 4.19. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁

Parametri osmotskog tretmana lista celera		Kriterijum	Kriterijum higijene u procesu proizvodnje		
		bezbednosti hrane	Kvasci i plesni	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Escherichia coli</i>
		<i>Salmonella spp</i> (negativno/10g)	(CFU/g)	(CFU/g)	(CFU/g)
Svež list celera		0±0 ^a	1600±100 ^j	2100±180 ^j	0±0 ^a
1h	20°C	0±0 ^a	870±40 ^g	960±50 ⁱ	0±0 ^a
1h	35 °C	0±0 ^a	670±50 ^f	840±60 ^h	0±0 ^a
1h	50 °C	0±0 ^a	640±60 ^e	570±10 ^e	0±0 ^a
3h	20 °C	0±0 ^a	760±20 ^h	730±80 ^g	0±0 ^a
3h	35 °C	0±0 ^a	500±20 ^d	370±20 ^d	0±0 ^a
3h	50 °C	0±0 ^a	270±40 ^b	240±40 ^b	0±0 ^a
5h	20 °C	0±0 ^a	740±30 ⁱ	500±40 ^e	0±0 ^a
5h	35 °C	0±0 ^a	440±40 ^c	340±10 ^c	0±0 ^a
5h	50 °C	0±0 ^a	200±30 ^a	170±10 ^a	0±0 ^a

^{a-j}Različita slova u eksponentu vrednosti u istim kolonama ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou p<0,05 (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

Tabela 4.20. Pokazatelji mikrobiološkog profila tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂

Parametri osmotskog tretmana lista celera	Kriterijum bezbednosti hrane	Kriterijum higijene u procesu proizvodnje		
	<i>Salmonella spp</i> (negativno/10g)	Kvasci i plesni (CFU/g)	<i>Enterobacteriaceae</i> (CFU/g)	<i>Escherichia coli</i> (CFU/g)
Svež list celera	0±0 ^a	1600±140 ^h	2100±170 ^g	0±0 ^a
1h 20°C	0±0 ^a	640±70 ^g	870±140 ^f	0±0 ^a
1h 35 °C	0±0 ^a	370±30 ^d	630±50 ^e	0±0 ^a
1h 50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	440±70 ^d	0±0 ^a
3h 20 °C	0±0 ^a	570±30 ^f	500±60 ^a	0±0 ^a
3h 35 °C	0±0 ^a	320±10 ^c	420±30 ^c	0±0 ^a
3h 50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	200±20 ^b	0±0 ^a
5h 20 °C	0±0 ^a	400±30 ^e	430±20 ^{cd}	0±0 ^a
5h 35 °C	0±0 ^a	200±20 ^b	0±0 ^a	0±0 ^a
5h 50 °C	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a

^{a-h}Različita slova u eksponentu vrednosti u istim kolonama ukazuju na statistički značajnu razliku na nivou p<0,05 (na osnovu post-hoc Tukey-evog HSD testa)

4.2.1. Određivanje *Salmonella spp.*

Ni u jednom od ispitivanih uzoraka svežeg i osmotski tretiranog korena i lista celera nije utvrđeno prisustvo *Salmonella spp.* Odsustvo ove patogene bakterije ukazuje da su svi tretirani uzorci celera u skladu sa Kriterijumom bezbednosti hrane Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010), odnosno da su dobijeni dehidrirani biljni poluproizvodi mikrobiološki bezbedni.

4.2.2. Određivanje ukupnog broja kvasaca i plesni

Ukupan broj kvasaca i plesni u svežem korenu celera, isečenom u laboratorijskim uslovima i pripremljenom za osmotski tretman, iznosio je 740 ± 60 CFU/g. Na osnovu rezultata u tabelama 4.17. i 4.18., uočava se da se srednje vrednosti broja ovih mikroorganizama kod svih tretiranih uzoraka statistički značajno razlikuju u poređenju sa srednjim vrednostima u svežem uzorku. Ukupan broj kvasaca i plesni opada tokom tretmana, što ukazuje da proces osmotske dehidracije statistički značajno doprinosi smanjenu inicijalnog broja prisutnih kvasaca i plesni u svežem korenu celera.

ANOVA pokazuje da se uzorci korena celera tretirani u različitim osmotskim rastvorima i pri različitim procesnim parametrima, takođe statistički značajno razlikuju (tabele 4.17.-4.20.). Već nakon prvog sata procesa, na temperaturi od 20°C , primetan je značajan pad ukupnog broja kvasaca i plesni, u odnosu na polazni uzorak. Produžavanjem vremena trajanja procesa i povećavanjem temperature, smanjenje početnih vrednosti još više dolazi do izražaja.

Primenom najviše procesne temperature postiže se potpuni konzervišući efekat, bez obzira na dužinu trajanja procesa i vrstu upotrebljenog osmotskog rastvora, tj. prisustvo kvasaca i plesni u uzorcima korena celera dehidriranih na temperaturi od 50°C nije detektovano. Trajanje procesa takođe bitno utiče na snižavanje početnog broja kvasaca i plesni u uzorcima korena celera, i uočava se da nakon 5 časova procesa, na sve tri temperature i za oba primenjena osmotska rastvora, nisu detektovani prisutni kvasci i plesni u tretiranim uzorcima.

Ako se uporede uzorci tretirani u različitim osmotskim rastvorima, može se zaključiti da je rastvor R_2 efikasniji u pogledu snižavanja ukupnog broja kvasaca i plesni, jer su u uzorcima tretiranim u melasi šećerne repe mikrobiološkom analizom utvrđene nešto niže vrednosti.

Mikrobiološka analiza celera pokazala je da svež list celera ima veću vrednost ukupnog broja kvasaca i plesni, u odnosu na svež koren, 1600 CFU/g. Na osnovu podataka u tabeli, zapaža se pravilno opadanje broja kvasaca i plesni u tretiranim uzorcima, sa povišenjem parametara procesa. Uočava se da temperatura procesa dehidracije ima veoma izražen uticaj na snižavanje početnog broja kvasaca i plesni u uzorcima lista celera. Na najvišoj procesnoj temperaturi (50°C) nezavisno od dužine trajanja tretmana, dobijaju se najniže vrednosti za uzorke tretirane u rastvoru R_1 , dok u uzorcima tretiranim u rastvoru R_2 , prisustvo kvasaca i plesni nije detektovano. Rastvor R_2 se pokazao kao efikasniji osmotski agens i u ovom slučaju.

Praćenje promene ukupnog broja kvasaca i plesni u uzorcima korena i lista celera tokom procesa osmotske dehidratacije ukazuje na nivo higijene u procesu proizvodnje (odnosno nivo higijene procesa osmotske dehidratacije) i održivosti dobijenog dehidriranog poluproizvoda (tabele 4.17.-4.20.). Rezultati smanjenja ukupnog broja kvasaca i plesni u svim izvedenim procesima osmotske dehidratacije ukazuju da je proces higijenski ispravan.

4.2.3. Određivanje *Enterobacteriaceae*

Mikrobiološkom analizom utvrđeno je da broj *Enterobacteriaceae* u svežem korenu celera iznosio 1100 ± 110 CFU/g, a u svežem listu celera 2100 ± 180 CFU/g. ANOVA pokazuje da postoji značajna statistička razlika između vrednosti broja *Enterobacteriaceae* svežih uzoraka korena i lista celera i vrednosti za osmotski dehidrirane uzorke u svim postupcima osmotske dehidratacije. Podaci u tabelama 4.17.-4.20. ukazuju da osmotski tretman, pri svim variranim uslovima izvođenja procesa, statistički značajno doprinosi smanjenju broja *Enterobacteriaceae* koje su prisutne u svežem celeru.

Temperatura i vreme imerzije su se pokazali kao izuzetno značajani faktori procesa, sa aspekta uticaja na sniženje početnih vrednosti broja *Enterobacteriaceae* u tretiranim uzorcima celera. Već na temperaturi od 20°C svi tretirani uzorci imaju dvostruko manji broj *Enterobacteriaceae* u odnosu na sveže uzorke, dok u uzorcima korena i lista celera osmotski tretiranim u rastvoru R_2 na najvišoj temperaturi, *Enterobacteriaceae* nisu čak ni detektovane.

Statistički značajno smanjenje broja *Enterobacteriaceae* sa povećanjem temperature procesa u skladu je sa rezultatima da su najniže a_w vrednosti postignute u procesima osmotske dehidratacije na višim temperaturama. Poređenjem vrednosti broja *Enterobacteriaceae* u zavisnosti od primenjenog osmotskog rastvora, uočava se da rastvor R_2 utiče na veće smanjenje početnih vrednosti u uzorcima.

Vrednost broja *Enterobacteriaceae*, kao pogodan parametar za praćenje nivoa higijene procesa, sastavni je deo Kriterijuma higijene u procesu proizvodnje, pa dobijeni rezultati potvrđuju higijensku ispravnost procesa.

4.2.4. Određivanje *Escherichia coli*

Ni u jednom od ispitivanih uzoraka, kako svežeg tako i osmotski tretiranog korena i lista celera, nije utvrđeno prisustvo *Escherichia coli*, što je u saglasnosti sa zahtevima Pravilnika o opštim i posebnim uslovima higijene hrane (2010), odnosno još jedna je potvrda higijenske ispravnosti procesa osmotske dehidracije.

4.3. Uticaj procesnih parametara na ukupni antioksidativni potencijal i sadržaj fenola osmotski tretiranog korena i lista celera

Iako postoje brojna istraživanja ne temu osmotskog sušenja, uticaj ovog procesa na kvalitet krajnjeg produkta, a posebno na njegovu antioksidativnost, je nedovoljno ispitan. Velika većina istraživanja bavi se kintekom procesa, a u samo nekoliko se procenjuju efekti procesa na funkcionalna svojstva osmotski dehidrirane hrane (Landim i sar., 2016). Procena kvaliteta sa nutritivnog i senzornog aspekta je bitna, jer ovi faktori direktno utiču na prihvatljivost dehidriranog produkta, koji može biti narušen zbog fizičkih i hemijskih promena koje produkt može pretrpeti tokom dehidracije. Zato se u ovoj disertaciji ispituje uticaj osmotske dehidracije na glavne karakteristike koje određuju funkcionalni i senzorni kvalitet dehidriranih namirnica, kao što su antioksidativnost i boja.

Značaj fenolnih i drugih antioksidativnih jedinjenja u ishrani je dobro poznat, pa je proučavanje uticaja osmotskog tretmana na ove supstance veoma važno (Nićetin i sar., 2017). Bioaktivna jedinjenja u sirovinama koje se podvrgavaju osmotskom tretmanu mogu pretrpeti oštećenja, variranjem parametara tokom procesa. Takođe, njihov krajnji sadržaj zavisi i od mogućih hemijskih i biohemijskih transformacija, ili gubitka usled difuzije sa vodenim tokom. Nasuprot tome, gubitak vode može uzrokovati povećanje koncentracije hemijskih jedinjenja u odnosu na svež materijal, dok priraštaj suve materije uzrokuje suprotan efekat i podstiče očigledne varijacije u koncentraciji hemijskih jedinjenja u osmotski tretiranom proizvodu (Atares i sar., 2011).

Isto kao i kod parametara masenog transfera, na antioksidativnost i prisustvo fenolnih jedinjenja biljne sirovine koja se podvrgava osmotskoj dehidraciji utiču osmotski rastvori (tip i koncentracija), temperatura osmotskog rastvora, odnos uzorak/rastvor, oblik i veličina uzorka, vreme imerzije uzorka.

U tabelama 4.21.-4.24. prikazane su eksperimentalne vrednosti (srednje vrednosti tri merenja sa standardnim devijacijama) pokazatelja antioksidativnosti za koren i list celera dehidriran u dva različita osmotska rastvora R_1 i R_2 , tokom 1, 3 i 5 časova trajanja procesa (parametar t) i na tri različite temperature 20, 35 i 50°C (parametar T). Eksperimentalni podaci prikazuju vrednosti ukupne antioksidativne aktivnosti (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP) i ukupnog sadržaja fenolnih jedinjenja (FC) u svežim (kontrolnim) uzorcima korena i lista celera i promene istih promenljivih u uzorcima tokom osmotskog tretmana, u funkciji procesnih parametara (t i T), variranih prema usvojenom eksperimentalnom planu. U tabelama su takođe predstavljeni rezultati urađenog post-hoc Tukey-evog HSD testa, koji prikazuju značajnost razlika srednjih vrednosti ispitivanih odziva sistema (FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC), između pojedinačnih uzoraka korena i lista celera.

Tabela 4.21. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁

Br. t	T	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(h)(°C)	(mM TE)	(mM TE)	(mM TE)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
0	0 20	1,527±0,009 ^h	1,098±0,008 ^h	0,459±0,003 ^h	0,042±0,000 ^j	0,020±0,000 ^g	0,159±0,001 ^g
1	1 20	1,265±0,009 ^g	0,879±0,008 ^b	0,378±0,002 ^g	0,031±0,000 ⁱ	0,016±0,000 ^c	0,140±0,001 ^f
2	1 35	1,187±0,011 ^e	0,823±0,006 ^g	0,346±0,003 ^c	0,028±0,000 ^g	0,015±0,000 ^f	0,127±0,001 ^a
3	1 50	1,099±0,008 ^b	0,775±0,002 ^a	0,321±0,002 ^c	0,025±0,000 ^e	0,014±0,000 ^b	0,126±0,001 ^a
4	3 20	1,227±0,006 ^f	0,879±0,005 ^b	0,356±0,002 ^f	0,030±0,000 ^h	0,016±0,000 ^c	0,133±0,001 ^e
5	3 35	1,071±0,009 ^d	0,748±0,002 ^f	0,312±0,002 ^b	0,023±0,000 ^d	0,014±0,000 ^e	0,120±0,002 ^d
6	3 50	0,990±0,003 ^a	0,701±0,006 ^c	0,283±0,002 ^a	0,021±0,000 ^c	0,013±0,000 ^a	0,115±0,000 ^b
7	5 20	1,097±0,012 ^b	0,788±0,004 ^a	0,318±0,004 ^{bc}	0,025±0,000 ^f	0,015±0,000 ^b	0,126±0,001 ^a
8	5 35	0,997±0,007 ^a	0,675±0,006 ^d	0,284±0,003 ^a	0,020±0,000 ^b	0,013±0,000 ^a	0,114±0,001 ^b
9	5 50	0,910±0,005 ^c	0,623±0,007 ^c	0,260±0,002 ^d	0,018±0,000 ^a	0,012±0,000 ^d	0,107±0,000 ^c

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.22. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂

Br.	t	T	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(h)	(°C)	(mM TE)	(mM TE)	(mM TE)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
0	0	20	1,527±0,009 ^c	1,098±0,004 ^b	0,459±0,001 ^b	0,042±0,000 ^a	0,020±0,000 ^a	0,159±0,001 ^d
1	1	20	1,542±0,010 ^{ac}	1,104±0,014 ^{ab}	0,461±0,002 ^b	0,042±0,000 ^{ab}	0,020±0,000 ^a	0,161±0,001 ^{cde}
2	1	35	1,560±0,010 ^{abc}	1,116±0,009 ^{ab}	0,461±0,004 ^{bd}	0,042±0,000 ^{ab}	0,021±0,000 ^a	0,161±0,002 ^{de}
3	1	50	1,562±0,007 ^{ab}	1,122±0,008 ^{ab}	0,465±0,002 ^{bcd}	0,043±0,000 ^{cd}	0,022±0,000 ^b	0,165±0,001 ^{abce}
4	3	20	1,550±0,011 ^{abc}	1,110±0,005 ^{ab}	0,469±0,003 ^{abcd}	0,042±0,000 ^{ab}	0,021±0,000 ^a	0,162±0,000 ^{acde}
5	3	35	1,558±0,003 ^{abc}	1,120±0,010 ^{ab}	0,472±0,006 ^{acd}	0,042±0,000 ^{abc}	0,021±0,000 ^b	0,165±0,002 ^{abc}
6	3	50	1,571±0,013 ^{ab}	1,129±0,009 ^a	0,476±0,004 ^{ac}	0,043±0,000 ^{de}	0,022±0,000 ^b	0,166±0,002 ^{ab}
7	5	20	1,560±0,020 ^{abc}	1,118±0,010 ^{ab}	0,473±0,007 ^{ac}	0,042±0,000 ^{ab}	0,022±0,000 ^b	0,165±0,000 ^{abc}
8	5	35	1,560±0,011 ^{abc}	1,130±0,014 ^a	0,477±0,002 ^a	0,043±0,000 ^{bcd}	0,022±0,000 ^c	0,166±0,002 ^{ab}
9	5	50	1,580±0,016 ^b	1,132±0,011 ^a	0,479±0,000 ^a	0,044±0,000 ^e	0,022±0,000 ^c	0,167±0,001 ^b

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.23. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁

Br.	t	T	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(h)	(°C)	(mM TE)	(mM TE)	(mM TE)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
0	0	20	1,424±0,017 ^a	0,980±0,004 ^d	0,414±0,005 ^b	0,046±0,000 ^d	0,019±0,000 ^e	0,158±0,001 ^f
1	1	20	1,401±0,007 ^{ac}	0,979±0,005 ^d	0,407±0,003 ^b	0,042±0,000 ^b	0,018±0,000 ^d	0,156±0,001 ^{ef}
2	1	35	1,423±0,012 ^a	0,971±0,002 ^{df}	0,405±0,002 ^b	0,042±0,000 ^b	0,017±0,000 ^{bc}	0,154±0,001 ^a
3	1	50	1,420±0,020 ^a	0,948±0,008 ^{abc}	0,404±0,003 ^{bc}	0,042±0,000 ^b	0,017±0,000 ^{bc}	0,153±0,002 ^{ab}
4	3	20	1,414±0,009 ^{ac}	0,965±0,008 ^{cdf}	0,394±0,003 ^{ac}	0,041±0,000 ^c	0,018±0,000 ^{cd}	0,154±0,002 ^{ae}
5	3	35	1,374±0,008 ^{bc}	0,955±0,006 ^{bef}	0,390±0,006 ^a	0,041±0,000 ^c	0,017±0,000 ^b	0,153±0,000 ^a
6	3	50	1,391±0,020 ^{abc}	0,944±0,005 ^{abe}	0,386±0,002 ^a	0,039±0,000 ^a	0,017±0,000 ^a	0,150±0,000 ^{bd}
7	5	20	1,383±0,004 ^{bc}	0,948±0,007 ^{abc}	0,389±0,002 ^a	0,039±0,000 ^a	0,017±0,000 ^a	0,152±0,001 ^{ab}
8	5	35	1,358±0,011 ^b	0,936±0,007 ^{ae}	0,390±0,003 ^a	0,039±0,001 ^a	0,017±0,000 ^a	0,149±0,001 ^{cd}
9	5	50	1,358±0,018 ^b	0,929±0,007 ^e	0,390±0,003 ^a	0,040±0,000 ^a	0,017±0,000 ^a	0,147±0,001 ^c

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.24. Pokazatelji antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂

Br.	t	T	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
	(h)	(°C)	(mM TE)	(mM TE)	(mM TE)	(ml)	(ml)	(mg GAE/L)
0	0	20	1,424±0,016 ^e	0,980±0,004 ^c	0,414±0,002 ^a	0,046±0,001 ^d	0,019±0,000 ^e	0,158±0,001 ^e
1	1	20	1,432±0,004 ^{ae}	1,004±0,002 ^b	0,416±0,006 ^{ab}	0,046±0,000 ^d	0,020±0,000 ^a	0,162±0,001 ^{ab}
2	1	35	1,444±0,010 ^{abce}	1,013±0,008 ^{ab}	0,415±0,001 ^{ab}	0,048±0,001 ^a	0,020±0,000 ^f	0,161±0,001 ^{ae}
3	1	50	1,455±0,012 ^{abcd}	1,018±0,002 ^{ab}	0,424±0,002 ^{abc}	0,049±0,000 ^{ab}	0,020±0,000 ^a	0,163±0,001 ^{abc}
4	3	20	1,438±0,006 ^{abe}	1,014±0,007 ^{ab}	0,425±0,003 ^{bc}	0,048±0,001 ^a	0,021±0,000 ^{ab}	0,164±0,002 ^{abc}
5	3	35	1,456±0,009 ^{abcd}	1,023±0,008 ^{ab}	0,431±0,003 ^{cd}	0,049±0,000 ^{ab}	0,021±0,000 ^c	0,163±0,002 ^{abc}
6	3	50	1,467±0,008 ^{cd}	1,027±0,004 ^a	0,434±0,004 ^{cd}	0,050±0,000 ^{bc}	0,023±0,000 ^d	0,166±0,001 ^{cd}
7	5	20	1,459±0,011 ^{abcd}	1,026±0,014 ^{ab}	0,418±0,004 ^{ab}	0,049±0,000 ^{ab}	0,021±0,000 ^{bc}	0,165±0,001 ^{bc}
8	5	35	1,463±0,008 ^{bcd}	1,029±0,012 ^a	0,440±0,003 ^d	0,050±0,000 ^{bc}	0,022±0,000 ^g	0,169±0,001 ^d
9	5	50	1,477±0,002 ^d	1,060±0,007 ^d	0,439±0,003 ^d	0,051±0,000 ^c	0,023±0,000 ^d	0,169±0,001 ^d

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tukey-evim HSD testom, ustanovljeno da se pojedinačni uzorci uglavnom statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$. Time je potvrđeno da se variranjem parametara procesa dobijaju statistički značajno raznoliki uzorci, i može se pristupiti daljoj statističkoj analizi i matematičkom modelovanju. Na slikama 4.5.-4.10. a-d, su predstavljeni grafički prikazi jednačina polinoma drugog reda (SOP), pomoću kojih se mogu definisati trendovi uticaja procesnih parametara na promenu antioksidativne aktivnosti tokom osmotskog tretmana.

4.3.1. Promena antioksidativnog potencijala korena celera tokom osmotskog tretmana

Na osnovu eksperimentalnih podataka, uočava se trend konstantnog smanjenja vrednosti koje opisuju antioksidativnu aktivnost korena celera, tretiranog u rastvoru R_1 (tabela 4.21.). Sa druge strane, tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 (tabela 4.22.), primetno je postepeno povećanje posmatranih parametara antioksidativne aktivnosti, u odnosu na početne vrednosti, u svim ispitivanim uzorcima.

Kada se koren celera osmotski tretira u rastvoru R_1 , već nakon prvog sata procesa, i na najnižoj temperaturi, uočava se opadanje vrednosti antioksidativne aktivnosti od početnog 1,527 do 1,256 mM TE (17,75%), za FRAP metodu; od 1,098 do 0,879 mM TE (19,95%), za ABTS metodu; od 0,459 do 0,378 mM TE (17,65%), za DPPH metodu; od 0,042 do 0,031 ml (26,20%), za HPMC metodu i od 0,020 do 0,016 ml (20%) za MRAP metodu. Kako se temperatura i vreme trajanja osmotskog tretmana povećavaju, tako ove vrednosti nastavljaju da opadaju tj. smanjuje se antioksidativna aktivnost u tretiranim uzorcima. Određivanjem ukupnih antioksidativnih aktivnosti tretiranih uzoraka preko pet antioksidativnih pokazatelja, najniže vrednosti dobijene su nakon petočasnog osmotskog tretmana na temperaturi od 50°C. Vrednost antioksidativne aktivnosti određena preko FRAP metode iznosila je 0,910, što ukazuje na činjenicu da je antioksidativna aktivnost korena celera opala za 40,41%. Preko ABTS vrednosti, za koren celera tretiran 5 časova, na temperaturi od 50°C, utvrđeno je da antioksidativna aktivnost opada za 43,26%, u odnosu na antioksidativnu aktivnost svežeg, netretiranog uzorka. Osmotsko tretiranje korena celera pri istim uslovima uticalo je na pad početnog antioksidativne aktivnosti za 43,46%, utvrđeno merenjem DPPH vrednosti. Polarografskim metodama za određivanje antioksidativnosti, dobijeni rezultati su slični kao i za prethodno navedene spektrofotometrijske metode, i opadanje antioksidativne aktivnosti je najizraženije na najvišim procesnim parametrima, 52,39% za HPMC i 40% za MRAP metodu. Dakle, posle 5 časova imerzije na

temperaturi od 50°C, tretiran koren celera sadrži oko 59%, 57%, 57%, 48% i 60% ukupne antioksidativne aktivnosti, za FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metode, respektivno.

Rezultati pokazuju da što je veća temperatura osmotskog rastvora, to je manje zadržavanje jedinjenja koja održavaju antioksidativu aktivnost u produktu, a ovaj negativan uticaj temperature na retenciju antioksidativnosti se povećava sa dužinom trajanja procesa. Najveće zadržavanje antioksidativnog potencijala događa se na najnižim temperaturama, zbog toga što povećanje temperature pospešuje kolaps ćelija, uzrokujući smanjenje permeabilnosti i selektivnosti membrane i favorizujući difuziju vode, a time i gubitak u vodi rastvornih antioksidanata koji sa izdvojenom vodom prelaze u osmotski rastvor (Almeida i sar., 2017). Štaviše, visoke temperature smanjuju viskoznost osmotskog rastvora, a samim tim i spoljašni otpor masenom transferu, pa se proces ubrzava. Produženjem vremena imerzije, bez obzira na primenjenu temperaturu procesa, manje je zadržavanje početne antioksidativne aktivnosti, verovatno zbog gubitka integriteta ćelijskih zidova.

Ovi rezultati u saglasnosti su sa rezultatima istraživača Nowicka i sar. (2014), koji navode da osmotska dehidracija promoviše negativan uticaj na sastav ukupnih fenola i antioksidativni kapacitet u voću. Takođe, Devic i sar. (2011), ustanovili su da koncentracija nekih bioaktivnih jedinjenja opada na višim temperaturama osmotske dehidracije, kao i da je glavni mehanizam odgovoran za redukciju antioksidativnih jedinjenja difuzija vode.

Još jedan od mehanizama koji je moguće da se odvija tokom osmotskog tretmana, a utiče na smanjenje ukupne antioksidativnosti produkta je hidroliza molekula. Hidrolizom molekula smanjuje se stepen polimerizacije nekih antioksidativnih jedinjenja, pri čemu nastaju molekuli manje molekulske mase koji lakše difunduju kroz membranu ćelija u okolni rastvor. Ovaj mehanizam mnogo više zavisi od vremena trajanja procesa nego od temperature (Devic i sar., 2010). Povećanje temperature tokom osmotske dehidracije može takođe da promoviše oksidacione reakcije prisutnih antioksidativnih jedinjenja, uglavnom odvijanje enzimske oksidacije. Posmatrani parametri razmatraju ukupnu antioksidativnu aktivnost, pa nije poznato koja antioksidativna jedinjenja učestvuju u enzimskoj oksidaciji. Zbog toga, ovi rezultati ne daju precizne informacije o tome koje se moguće antioksidativne reakcije dešavaju tokom osmotskog procesa (Shi i sar., 1999; Landim i sar., 2016).

Osmotski tretman korena celera u rastvoru R₂ na temperaturi od 20°C, nakon prvog časa tretmana uticao je na nezatni pad antioksidativnog potencijala za 0,2%, određen preko FRAR

metode, dok su HPMC i MRAP metode pokazale da se pri istim uslovima zadržava ukupna antioksidativnost korena celera tj. vrednost se nije menjala nakon tretmana. U slučajevima ABTS i DPPH metoda, dobijene vrednosti antioksidativne aktivnosti pokazuju da se čak i pri najmanjim procesnim parametrima, antioksidativnost tretiranih uzoraka korena celera blago povećava, za 0,5% i 0,4%, respektivno.

Povećanjem procesne temperature i vremena, antioksidativni potencijal tretiranih uzoraka postepeno raste. Na najvišoj temperaturi (50°C) i najdužem vremenu trajanja procesa (5h), uočava se najveći porast antioksidativne aktivnosti od početne 1,527 do 1,580 mM Te (3,47%), za FRAP metodu; od 1,098 do 1,132 mM TE(3,09%), za ABTS metodu; od 0,459 do 0,473 mM TE (3,05%), za DPPH metodu; od 0,042 do 0,044 ml (4,76%), za HPMC metodu i od 0,020 do 0,022 ml (10%) za MRAP metodu.

Povećanje antioksidativnog potencijala tretiranih uzoraka korena celera, najverovatnije se može pripisati uticaju melase šećerne repe, kao osmotskom rastvoru tokom tretmana. Više istraživanja je potvrdilo da melasa šećerne repe poseduje značajan antioksidativni potencijal (Chen i sar., 2015, Guimaraes i sar., 2007).

Vrsta osmotskog rastvora direktno utiče na zadržavanje bioaktivnih jedinjenja i ukupnu antioksidativnost materijala koji je u njega potopljen. Tokom osmotskog tretmana, odvija se transport rastvorenih supstanci (fenolnih jedinjenja, antioksidanata, minerala, organskih kiselina, šećera) iz osmotskog rastvora u biljnu sirovinu. Ovaj transfer je od esencijalnog značaja za nutritivni i funkcionalni kvalitet dehidriranog produkta (Atares i sar., 2011, Giovanelli i sar., 2012). Melasa šećerne repe je bogat izvor antioksidanata (Valli i sar., 2012), i izvesno je da neki od njih difunduju tokom osmotskog tretmana u tkivo korena celera, doprinoseći poboljšanju njegove ukupne antioksidativnosti.

Na višim procesnim temperaturama, i produženjem vremena imerzije, povećava se permeabilnost ćelijskih membrana, a smanjuje viskozitet osmotskog rastvora, čineći maseni transfer bržim i lakšim. Zbog toga se na višim temperaturama i pri dužem izlaganju uzorka osmotskom tretmanu, postiže bolji transport aktivnih jedinjenja iz melase u koren celera, uzrokujući veće antioksidativne potencijale tretiranih uzoraka. Ova pretpostavka je u saglasnosti sa eksperimentalnim podacima (tabela 4.22.).

Istovremeno dolazi i do gubitka nekih antioksidativnih jedinjenja iz korena celera, kao što je uočeno kod osmotskog tretmana u rastvoru R₁. Kvalitativna procena antioksidativnog

profila korena celera je komplikovana, s obzirom na veliki broj jedinjenja koja doprinose ukupnoj antioksidativnosti. Zato se posmatra uticaj osmotskog tretmana na ukupni antioksidativni profil tretiranog uzorka, gde je melasa šećerne repe pokazala značajnu prednost u odnosu na vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida.

Moguće je i da veća koncentracija rastvora melase, u poređenju sa rastvorom R_1 , doprinosi poboljšanju antioksidativnosti u tretiranom korenu celera. Almeida i sar. (2015), uočili su da veća koncentracija osmotskog rastvora pogoduje boljem očuvanju antioksidativnog kapaciteta. Inkorporacija rastvorenih supstanci iz osmotskog rastvora u tkivo tretiranog materijala ima zaštitni efekat i stvara barijeru isticanju u vodi rastvorljivih supstanci iz uzorka, naročito onih koje su nosioci antioksidativnosti. Očekivano je da melasa šećerne repe usled kompleksnosti sastava i heterogenosti veličina molekula koji ulaze u njen sastav, formira snažniju barijeru od rastvora saharoze i natrijum hlorida.

4.3.2. Promena antioksidativnog potencijala lista celera tokom osmotskog tretmana

Procenom antioksidativnih potencijala lista celera tretiranog u rastvoru R_1 , određenih FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metodama, kod svih uzoraka se uočava smanjenje početne antioksidativnosti, na svim variranim procesnim parametrima (tabela 4.23.). Povećanje vremena trajanja i temperature procesa uzrokuje i veći pad ukupne antioksidativnosti kod svih ispitivanih uzoraka. Na temperaturi od 50°C i nakon 5 časova osmotskog tretmana, uočene se najmanje vrednosti, tj. najveće smanjenje antioksidativne aktivnosti od početnog 1,424 do 1,358 mM TE (4,64%), za FRAP metodu; od 0,980 do 0,929 mM TE (5,21%), za ABTS metodu; od 0,414 do 0,390 mM TE (5,8%), za DPPH metodu; od 0,046 do 0,040 ml (13,04%), za HPMC metodu i od 0,019 do 0,017 ml (10,53%) za MRAP metodu. Na osnovu ovih podataka, zaključuje se da je zadržavanje antioksidativnog potencijala mnogo veće u uzorcima lista u odnosu na uzorke korena celera, za isti primenjeni osmotski rastvor R_1 i iste uslove izvođenja procesa. Tretiran list celera, posle osmotskog tretmana sa najvišim vrednostima procesnih parametara, sadrži oko 95,36%, 94,79%, 94,20%, 86,96% i 89,47% ukupne antioksidativne aktivnosti, za FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metode, respektivno. Na nižim temperaturama i kraćim vremenima imerzije, zadržavanje ukupne antioksidativnosti postignuto je u još većim procentima, i do 99%.

Ovi rezultati u saglasnosti su sa rezultatima istraživanja Tonnon i sar., (2007) da se ukupan sadržaj karotenoida u paradajzu zadržao nakon 6h osmotske dehidracije u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida. Shi i sar., (1999) navode da do smanjenja likopena i β -karotena u paradajzu tokom osmotskog tretmana u ternarnom rastvoru ne dolazi verovatno zbog povoljnog kombinovanog efekta saharoze i soli na sintezu karotenoida.

Bolje očuvanje antioksidativnog potencijala uzoraka lista u odnosu na koren celera, tretiranih u istom rastvoru i pod istim uslovima, posledica je verovatno većeg priraštaja suve materije u listu. Priraštaj suve materije u listu tretiranom u rastvoru R_1 na temperaturi od 50°C , nakon 5h je bio $0,229\text{g/g}$ polaznog uzorka, dok je za koren celera iznosio $0,144\text{g/g}$ polaznog uzorka. Ovaj zaključak u skladu je sa navodima Atares i sar., (2011) da osmotska dehidracija banane u visokokoncentrovanom rastvoru saharoze, umanjuje uticaj na kvalitet finalnog produkta, jer visoke koncentracije saharoze sprečavaju oštećenja površinskih slojeva ćelija tretiranog tkiva i omogućavaju stvaranje barijere koja otežava transport bioaktivnih materija iz produkta u rastvor. Uočili su da se inkorporacijom saharoze u produkt, stvara zaštitni sloj na površini uzorka koji ograničava migraciju jedinjenja koja su odgovorna za ukupnu antioksidativnost produkta. Takođe su ustanovili da je povećanje suve materije u biljnom tkivu, imalo zaštitni efekat na antioksidativne supstance, zadržavajući ukupnu antioksidativnost iznad 97%. Pored toga, penetracija osmotskog rastvora u biljno tkivo sprečava enzim-supstrat interakciju, zbog ograničene koncentracije kiseonika i vlage u trenutnom okruženju enzima, pa se na taj način sprečava oksidacija antioksidativnih jedinjenja, putem enzimske aktivnosti (Landim i sar., 2016). Inhibiranje mogućeg enzimskog delovanja, doprinosi očuvanju prisutnih antioksidanasa.

Veće očuvanje antioksidativnog potencijala u tretiranom listu celera, u odnosu na koren može se objasniti i činjenicom da različita biljna tkiva imaju različite karakteristike u pogledu zadržavanja ukupne antioksidativnosti za vreme osmotske dehidracije. Ove razlike potiču pre svega od različitosti antioksidativnih profila u biljnim materijalima, jer se svaka pojedinačna antioksidativna komponenta različito ponaša za vreme procesa (Jacobs i Paliyath, 2012).

Osmotski tretman lista celera u rastvoru R_2 , na svim ispitivanim procesnim temperaturama i dužinama trajanja procesa, pokazao je pozitivan uticaj na antioksidativni potencijal tretiranog uzorka. Zapaženo je povećanje antioksidativne aktivnosti tretiranog celera, srazmerno povećanju procesnih parametara (tabela 4.24.).

Nakon petočasnog tretmana na najvišoj temperaturi (50°C), kod tretiranog lista celera uočava se najveći porast antioksidativne aktivnosti od početne 1,424 do 1,477 mM TE (3,72%), za FRAP metodu; od 0,980 do 1,026 mM TE (4,69%), za ABTS metodu; od 0,414 do 0,439 mM TE (6,03%), za DPPH metodu; od 0,046 do 0,051 ml (10,86%), za HPMC metodu i od 0,019 do 0,023 ml (21,05%) za MRAP metodu.

Povećanje antioksidativnog potencijala postiže se zahvaljujući primeni melase šećerne repe, koja predstavlja bogat izvor antioksidativnih jedinjenja. Tokom tretmana, melasa prodire u tkivo lista, obogaćuje ga antioksidansima prisutnim u njoj, a istovremeno stvara zaštitnu barijeru transportu antioksidanata iz lista celera

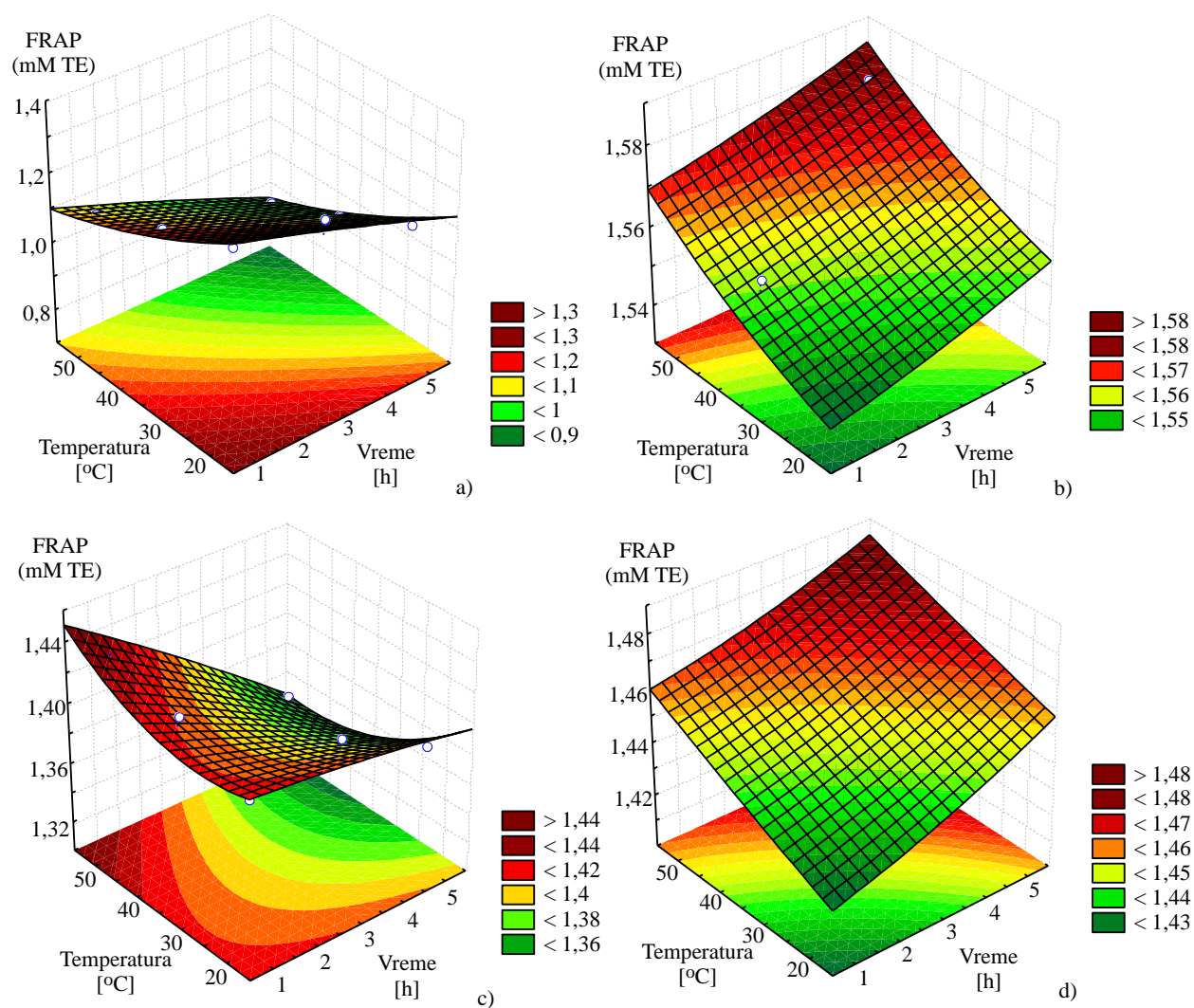
Poređenjem postignutih vrednosti antioksidativnih potencijala za koren i list celera, zapaža se da su nešto veće vrednosti dobijene osmotskim tretiranjem lista celera u rastvorima melase. Priraštaj suve materije u listu tretiranom u rastvoru melase, je veći nego priraštaj suve materije u korenu celera tretiranom u istom rastvoru i pod istim uslovima, što je posledica različitosti u strukturama tkiva. Parenhimsko tkivo lista celera čine prilično velike i odvojene ćelije nepravilnih oblika između kojih se nalaze prostrani intercelulari, pa je ovo tkivo poroznije od parenhinskog tkiva korena celera, koje je kompaktnije sa zbijenijim ćelijama i međućelijskim prostorima manje zapremine (Shi i Le Maguer, 2003). Zbog toga je apoplastni transpot i penetracija rastvorenih supstanci iz melase u većoj meri omogućena u poroznijem tkivu lista celera.

4.3.3. Zavisnost parametara antioksidativnog potencijala od parametara procesa tokom osmotskog tretmana

Zavisnost vrednosti antioksidativne aktivnosti, određene FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metodama od temperature i vremena trajanja procesa, tokom osmotskog tretmana korena i lista celera, prikazana je na slikama 4.6.-4.9. (a-d).

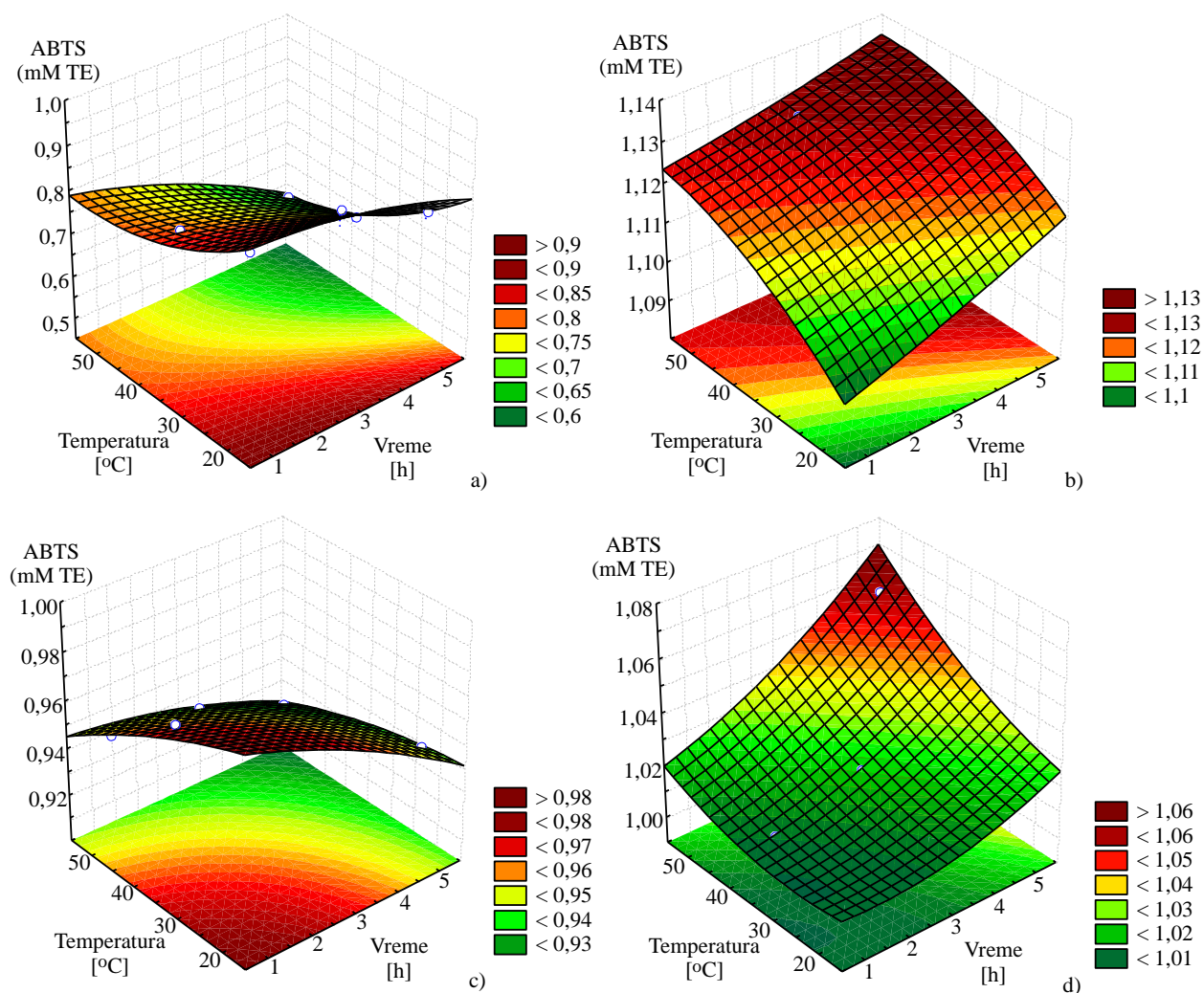
Na osnovu slike 4.5. uočava se da je tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁, uticaj nezavisno promenljivih parametara, temperature i vremena procesa, bitan i podjednako izražen na smanjenje FRAP vrednosti (dijagram a). Postepenim povećanjem temperature i vremena trajanja procesa, antioksidativna aktivnost korena ravnomerna opada. Tokom osmotske dehidracije korena celera u rastvoru R₂ (dijagram b), povećavanjem temperature, uočavaju se značajnija povećanja FRAP vrednosti u dehidriranim uzorcima.

Snižavanje FRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (dijagram c), više dolazi do izražaja produženjem trajanja procesa, dok je sa povećanjem temperaturnog faktora, opadanje FRAP vrednosti manje izraženo. Na osnovu izgleda dijagrama d, uočava se da je uticaj temperature i vremena trajanja procesa podjednako izražen na povećanje FRAP vrednosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 , tj. postepenim povećanjem temperature i vremena trajanja procesa, antioksidativna aktivnost lista celera ravnomerno raste.



Slika 4.5. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko FRAP vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R_1 , b) korena celera u rastvoru R_2 , c) lista celera u rastvoru R_1 , d) lista celera u rastvoru R_2 .

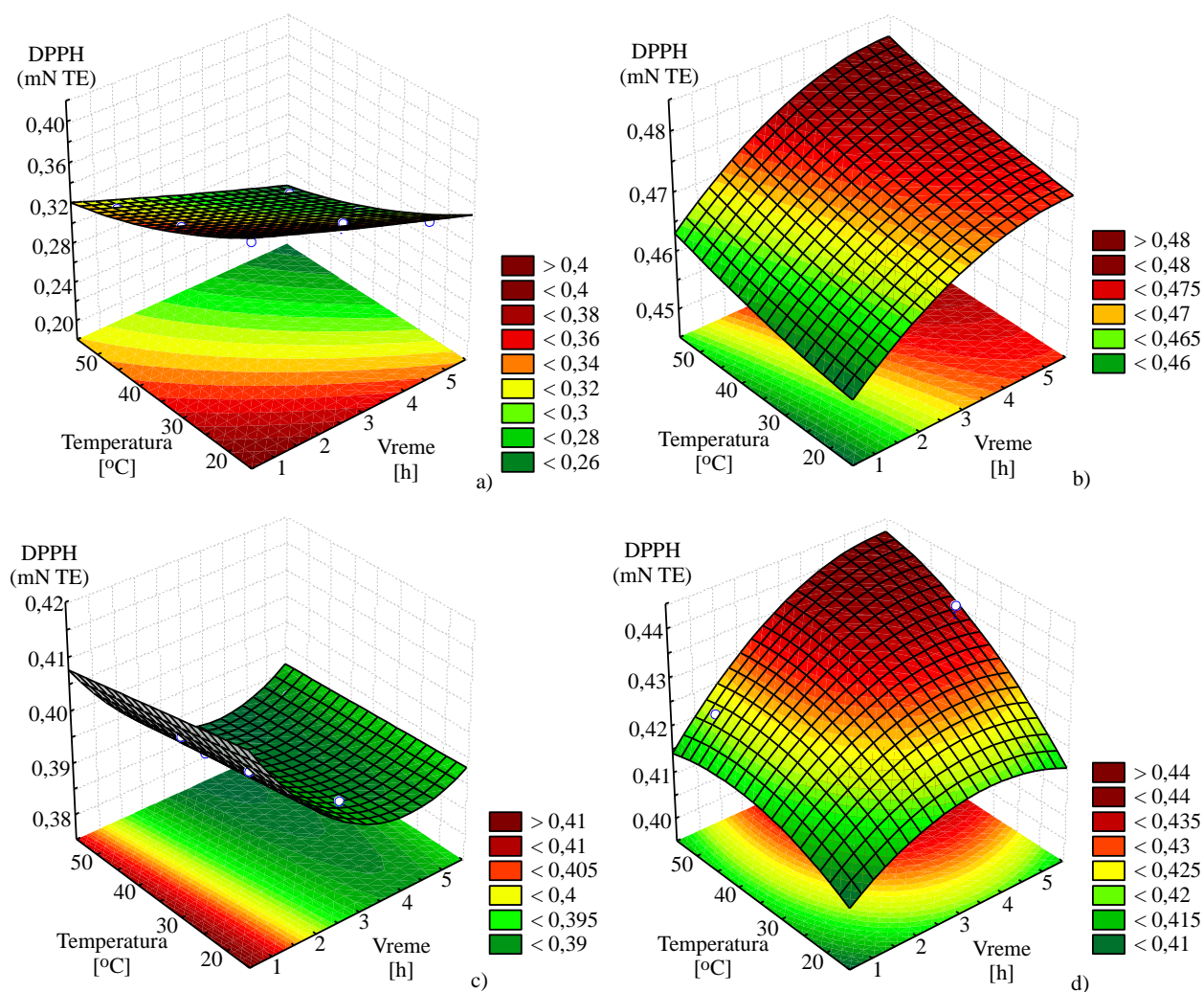
Na osnovu izgleda odzivnih površina (a-d), koji prikazuju zavisnost parametra antioksidativne aktivnosti određene ABTS metodom, od promena ulaznih veličina sistema, za koren i list celera dehidriranih u rastvorima R_1 i R_2 , može se zaključiti da je uticaj vremena imerzije i radne temperature važan i približno jednak za sve četiri slučaja. Povećanjem temperature i trajanja procesa osmotske dehidratacije, ABTS vrednosti pravilno opadaju za koren i list celera dehidriran u rastvoru R_1 (dijagram a i c), a rastu za iste uzorke dehidrirane u rastvoru R_2 (dijagrami b i d).



Slika 4.6. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko ABTS vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R_1 , b) korena celera u rastvoru R_2 , c) lista celera u rastvoru R_1 , d) lista celera u rastvoru R_2 .

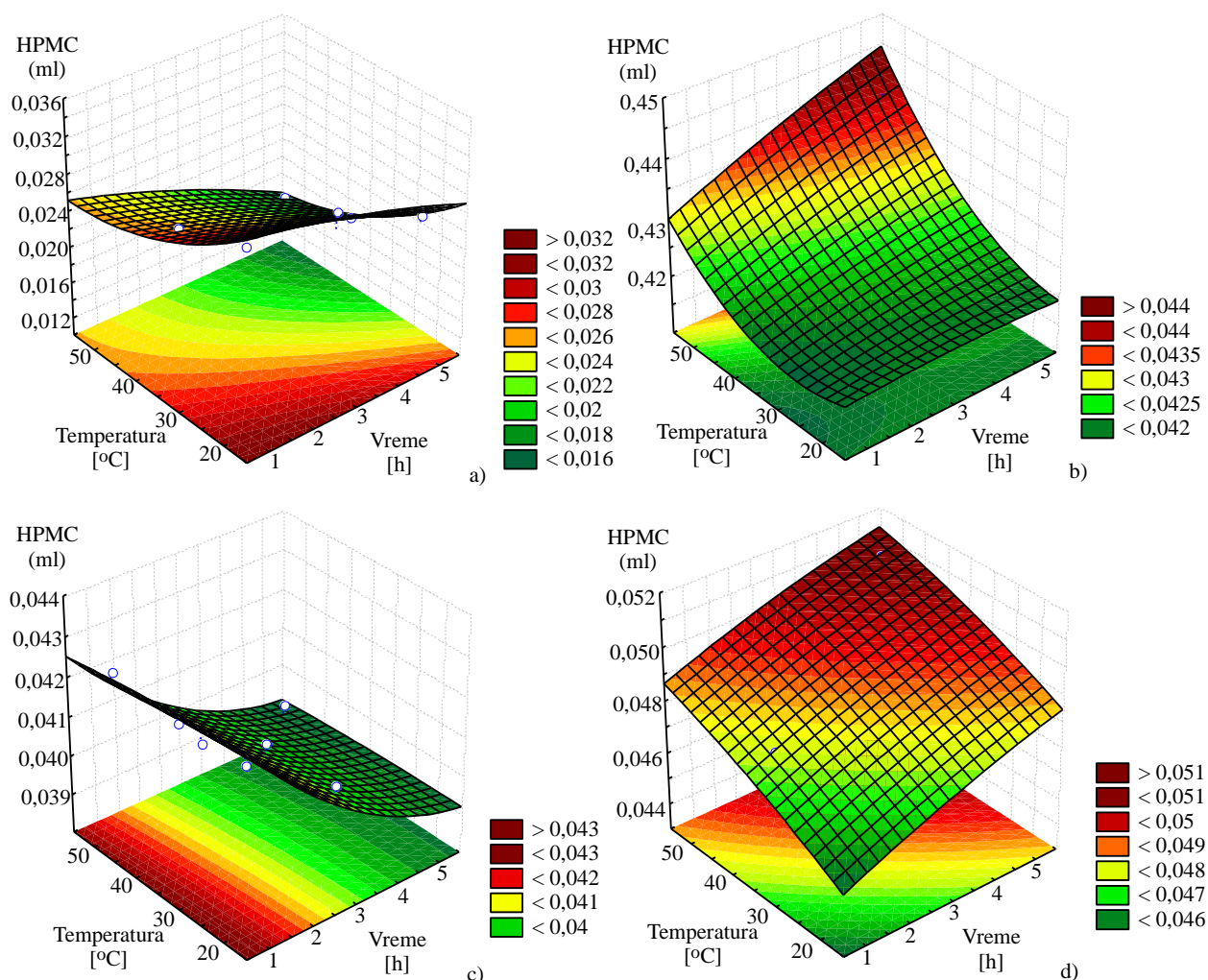
Grafički prikaz osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁ (slika 4.7. a), ukazuje na podjednako važan uticaj oba procesna parametra (t i T), jer dolazi do značajnog smanjenja DPPH vrednosti postepenim povećavanjem temperature i produženjem vremena imerzije. Povećanje temperature i dužine trajanja procesa podjednako značajno doprinosi i povećanju DPPH vrednosti tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂ (slika 4.7. b).

U slučajevima osmotskog tretmana lista celera, tokom upotrebe rastvora R₁, značajniji je uticaj vremena imerzije na promenu DPPH vrednosti, dok se za tretman u rastvoru R₂, uočavaju male promene DPPH vrednosti u zavisnosti od promene procesnih parametara (slika 4.7., c i d).



Slika 4.7. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko DPPH vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

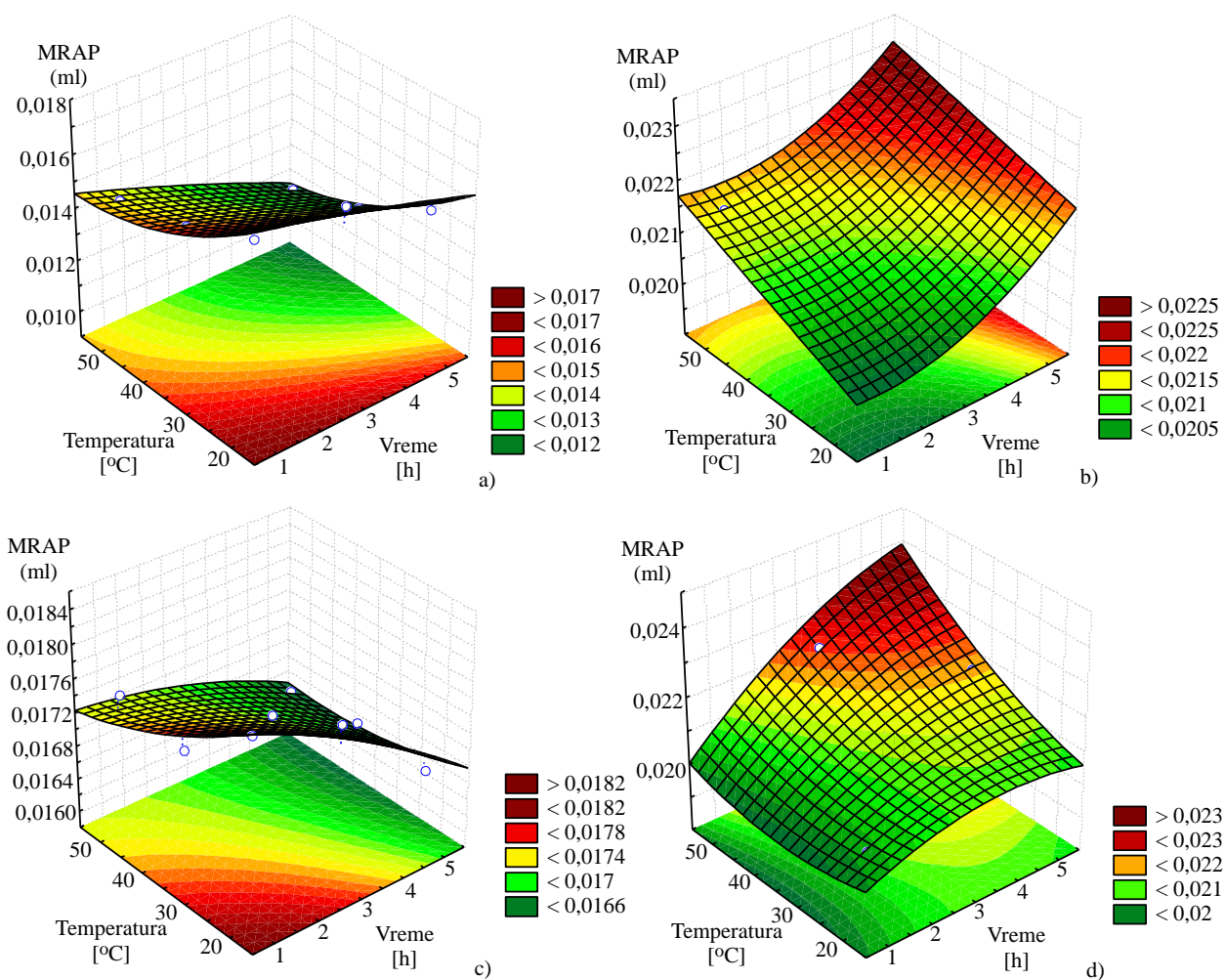
Vreme trajanja i temperatura procesa imaju isti trend uticaja na vrednosti antioksidativnih aktivnosti određenih polarografskim metodama HPMC i MRAP, što se može uočiti poređenjem odzivnih površina na slikama 4.8. i 4.9.



Slika 4.8. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko HPMC vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Vrednosti HPMC i MRAP, pravilno opadaju tokom čitavog procesa, srazmerno povećanju temperature i vremena imerzije, za koren celera tretiran u rastvoru R₁. S druge strane, vrednosti HPMC i MRAP ravnomerno rastu povećanjem dužine imerzije u rastvoru R₂ i pri višim temperaturama procesa, kako za koren, tako i za list celera. Kod osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁, uticaj vremena je više izražen u odnosu na uticaj temperature na smanjenje

HPMC i MRAP vrednosti. Smatra se da je vreme trajanja procesa bitniji faktor od temperature za neke mehanizme koji se odigravaju tokom osmotskog tretmana (kao što su hidroliza pojedinih antioksidativnih jedinjenja i gubitak integriteta ćelijskih zidova), koji mogu da vode smanjenju ukupne antioksidativnosti (Almeida i sar., 2015).



Slika 4.9. Promena antioksidativne aktivnosti izražena preko MRAP vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

4.3.4. Promena sadržaja ukupnih fenola tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Fenolna jedinjenja su prisutna u celeru u velikim količinama, i zbog svojih izraženih antioksidativnih svojstava značajno doprinose ukupnoj antioksidativnosti celera (Yao i sar., 2010).

Na osnovu eksperimentalnih rezultata u tabelama 4.21.-4.24., može se zaključiti da osmotski tretman utiče na promenu sadržaja fenolnih jedinjenja u listu i korenu celera, najviše u zavisnosti od tipa primenjenog osmotskog rastvora. Ako se kao osmotski agens upotrebi rastvor R_1 , sadržaj ukupnih fenola u korenu i listu celera postepeno opada, sa povećanjem temperature i vremena trajanja tretmana. Upotrebom rastvora R_2 , postiže se suprotan efekat, jer količina ukupnih fenola raste sa porastom parametara temperature i vremena tokom procesa.

Sadržaj ukupnih fenola u korenu celera, tretiranom u rastvoru R_1 opada već nakon prvog sata na najnižoj temperaturi za 11,95%, od početnih 0,159 do 0,140 mg GAE/L, i nastavlja dalje da se smanjuje u skladu sa produženjem procesa i povećanjem temperature. Nakon 5 sati procesa, na najvišoj temperaturi opada za 32,71%, do krajnje vrednosti 0,107 mg GAE/L. Redukcija fenolnih jedinjenja, verovatno je u najvećoj meri posledica masenog transfera vode iz potopljenog uzorka u okolni rastvor. Fenolna jedinjenja su rastvorna u vodi, i uglavnom su malih molekulskih masa, pa se deo njih izgubi gubitkom vode iz materijala. Uticaj osmotskog tretmana na fenolna jedinjenja proučavali su Dević i sar. (2010), koji su ustanovili da fenolna jedinjenja većih molekulskih masa pružaju otpor migraciji ka osmotskom rastvoru, pa su tako teži molekuli fenola, poput procijanida najviše očuvani, čak i pri višim temperaturama.

Eksperimentalni podaci pokazuju da je zadržavanje ukupnog sadržaja fenolnih jedinjenja mnogo efikasnije kada se list celera podvrgava osmotskom tretmanu u istom rastvoru R_1 . U početnim fazama procesa, i na nižim temperaturama procenat zadržavanja početne koncentracije fenolnih jedinjenja je visok, i do 99%. Na najvišoj temperaturi dolazi do najvećeg gubitka fenola, kojem doprinosi i produženje vremena imerzije. Najmanja vrednost sadržaja ukupnih fenola, uočena je nakon petočasnog tretmana na temperaturi od 50°C, i iznosi 0,147 mg GAE/L, tj. opala je za 6,97% od početnih 0,158 mg GAE/L. Ovi rezultati su u saglasnosti sa rezultatima Singla i sar., (2010), koji tvrde da osmotski tretman na temperaturi od 45°C, u rastvorima soli nije bitno uticao na promenu sastava ukupnih fenola u pečurkama.

Molekuli šećera i soli, tokom osmotskog tretmana prodiru kroz površinske slojeve i ispunjavaju prostrane međucelijske šupljine parenhimskog tkiva lista, čuvajući integritet ćelijskih zidova i istovremeno stvarajući zaštitni omotač koji otežava transport fenolnih jedinjenja prisutnih u listu (Almeida i sar., 2015). Takođe, smanjena aktivnost vode i niske koncentracije kiseonika u tretiranom tkivu smanjuju stepen degradacije fenolnih jedinjenja. Očuvanje fenolnih jedinjenja je posledica penetracije rastvorene supstance u biljno tkivo, gubitka vode iz biljnog tkiva (smanjena a_w) i odsustva kiseonika u okolini tkiva za vreme osmotskog procesa, redom. U ovakvim uslovima smanjuje se mogućnost delovanja enzima polifenoloksidaze prisutnog u tkivu, koji može da utiče na oksidaciju i gubitak fenola (Quiles i sar., 2005).

Osmotskom dehidratacijom u rastvoru melase, postignuto je povećanje sadržaja ukupnih fenola, u svim ispitivanim uzorcima, kako za koren celera, tako i za list. Porast koncentracije fenolnih jedinjenja kretao se u sličnom rasponu za obe biljne sirovine, pri čemu su kod tretiranih uzoraka lista zapažene nešto više dobijene vrednosti. Duže izlaganje rastvoru melase, pri višim temperaturama rezultovalo je poboljšanim sastavom ukupnih fenola u uzorcima. Početni sadržaj fenolnih jedinjenja određen FC metodom u svežem korenu celera iznosio je 0,159 mg GAE/L, a tokom osmotskog tretmana povećavao se u rasponu od 0,161 (1,2%) do 0,167 (5%), srazmerno povećanju temperature i vremena imerzije. Za osmotski tretman lista, primećen je porast polaznog sadržaja fenola koji je iznosio 0,158 mg GAE/L, u rasponu od 0,161 (1,8%) do maksimalnih 0,169 (7%).

Povećanja koncentracije fenola u tretiranim uzorcima ukazuju na povoljan uticaj melase tokom tretmana, i rezultat su transfera fenolnih jedinjenja iz melase u biljno tkivo. Chen i sar., (2015) u svojim istraživanjima potvrdili su da je melasa šećerne repe značajan izvor fenolnih jedinjenja, i FC metodom odredili da ukupni sadržajem fenola u melasi iznosi 17,36 mg GAE/100ml. Prema podacima Maestro-Durána i sar. (1996) u melasi šećerne repe identifikovano je 12 fenolnih jedinjenja. Izvesno je da neka od prisutnih fenolnih jedinjenja u melasi putem difuzije tokom osmotskog tretmana doprinose obogaćivanju krajnjih fenolnih profila tretiranog korena i lista celera.

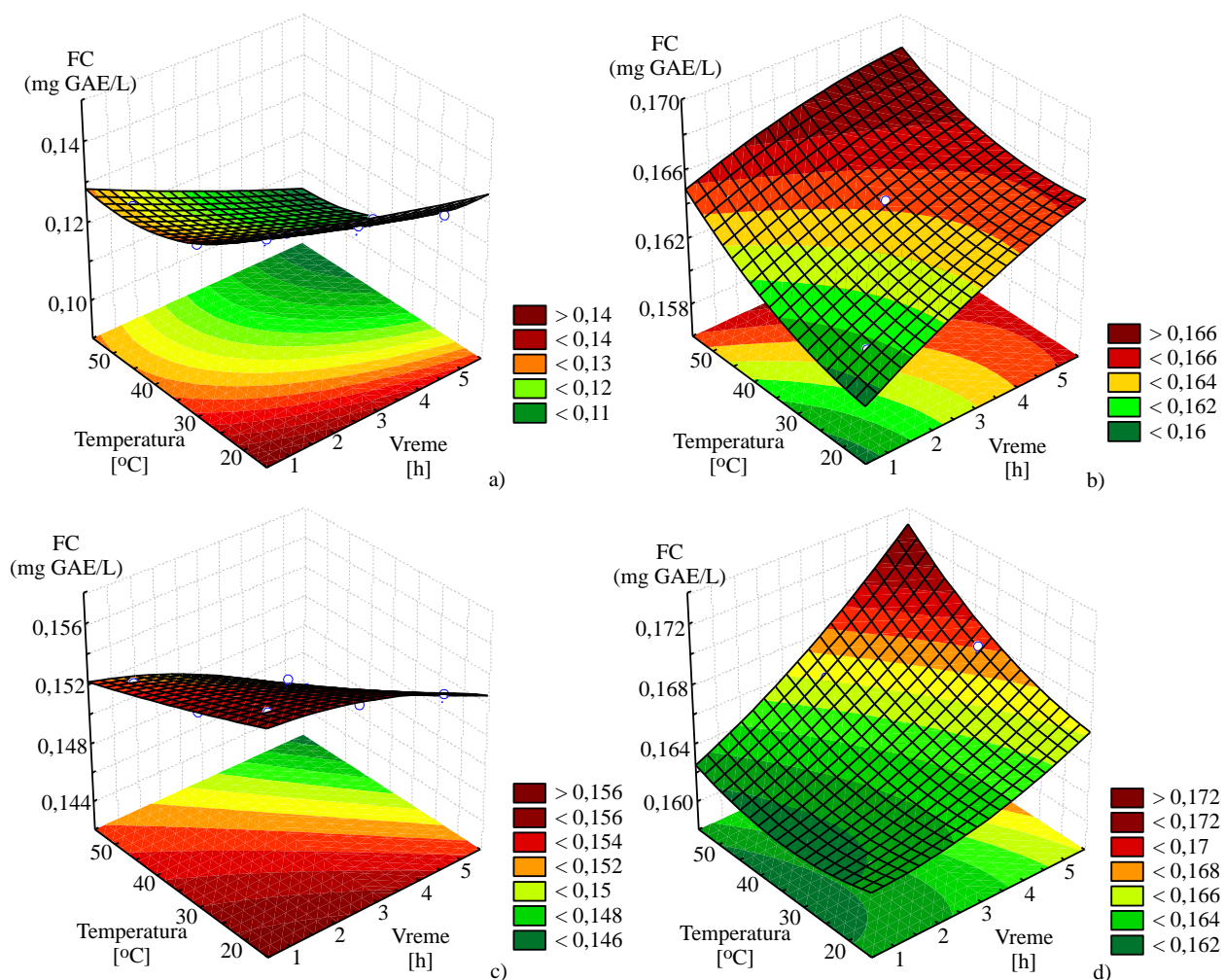
Međusobnim poređenjem rezultata koji pokazuju vrednosti antioksidativne aktivnosti određene FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metodama i vrednosti sadržaja ukupnih fenola određenih FC metodom, može se zaključiti da je antioksidativna aktivnost tretiranih uzoraka u korelaciji sa količinom fenola prisutnim u njima. Time se potvrđuje da sadržaj ukupnih fenolnih

jedinjenja doprinosi ukupnom antioksidativnom potencijalu, što je u skladu sa istraživanjima Yao i sar., (2011) i Zheng i sar., (2011).

Zavisnost parametra sadržaja ukupnih fenolnih jedinjenja, određenog FC metodom za uzorke korena i lista celera dehidriranih u rastvorima R_1 i R_2 , od promene ulaznih procesnih parametara, temperature i vremena trajanja procesa, predstavljena je grafički preko odzivnih površina na slici 4.10. a-d.

Evidentno je da povećanje temperature osmotskog tretmana u rastvoru R_1 , uz produženo trajanje procesa, utiče na smanjenje koncentracije fenola korena i lista celera. Na osnovu izgleda odzivnih površina, primećuje se da je pad u saržaju ukupnih fenola za FC metodu, izraženiji kod uzoraka korena celera (dijagram a) u odnosu na uzorke lista (dijagram c).

Nasuprot tome, trend povećanja koncentracije ukupnih fenolnih jedinjenja, sa povećanjem vrednosti procesnih parametra (t i T), uočen je na dijagramima b) i d) koji opisuju modele FC parametara u osmotskim tretmanima za koren i list celera, u rastvoru R_2 , što je u potpunoj saglasnosti sa eksperimentalnim podacima.



Slika 4.10. Promena ukupnog sadržaja fenola izražena preko FC vrednosti, u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂.

Na osnovu izgleda odzivne površine na dijagramu a, slika 4.10., uočava se podjednako izražen uticaj oba parametra koji se variraju tokom tretmana korena celera u rastvoru R₁. Na temperaturi od 20°C, u svim fazama procesa zapaža se manji pad FC vrednosti, u poređenju sa vrednostima dobijenim na višim temperaturama. Pad sadržaja ukupnih fenola najviše dolazi do izražaja na temperaturi od 50°C, u završnim fazama procesa.

I tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁ (dijagram c), uticaj oba parametra je podjednako izražen, ali je opadanje FC vrednosti na nižim temperaturama i u početnim

stadijumima procesa neznatno. Nešto veći pad vrednosti FC parametra, uočava se tek na temperaturi procesa od 35°C, nakon 5 sati, i vrednosti FC nastavljaju da opadaju daljim povećanjem temperature.

Grafički prikaz zavisnosti sadržaja ukupnih fenola u korenu celera od trajanja i temperature osmotskog tretmana u rastvoru R₂ (dijagram b), ukazuje na to da povećanja oba procesna parametra utiču na povećanje FC vrednosti, s tim da je temperatura nešto uticajniji faktor. Promene su male, a najveća FC vrednost postignuta je pri najdužem trajanju procesa, primenom najviših temperatura.

Izgled odzivne površine koja opisuje osmotski tretman lista celera u rastvoru R₂ (dijagram d), upućuje na zaključak da je vreme trajanja procesa značajniji faktor za povećanje sadržaja ukupnih fenola u tretiranim uzorcima. Za sve tri ispitivane procesne temperature, nakon 5h trajanja procesa postignute se najveće FC vrednosti u tretiranim uzorcima.

4.3.5. Matematički modeli odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Metoda odzivne površine (RSM) primenjena je sa ciljem određivanja modela odziva antioksidativnih pokazatelja tokom osmotske dehidratacije korena i lista celera u osmotskim rastvorima R₁ i R₂.

U tabelama 4.25., 4.27., 4.29. i 4.31. prikazani su rezultati analize varijanse (ANOVA) modela odzivnih površina koji su razvijeni na osnovu eksperimentalnih podataka za vrednosti ukupnog antioksidativnog potencijala i sadržaja fenola dobijenih tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u osmotskim rastvorima R₁ i R₂. Na osnovu ovih rezultata analizirani su uticaji procesnih parametara, kao i njihove međuzavisnosti na odzive matematičkog modela. Kao model odzivnih površina korišćen je polinom drugog reda (SOP) u obliku jednačine (3.11.), radi predviđanja funkcije (3.10.), za sve procesne parametre, odnosno nezavisno promenljive veličine.

Tabela 4.25. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
t	1	$4,99 \cdot 10^{-2+}$	$2,55 \cdot 10^{-2+}$	$5,63 \cdot 10^{-3+}$	$6,30 \cdot 10^{-5+}$	$7,02 \cdot 10^{-6+}$	$3,52 \cdot 10^{-4+}$
t^2	1	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$4,64 \cdot 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-6}$	$3,65 \cdot 10^{-7}$	$1,12 \cdot 10^{-8}$	$3,75 \cdot 10^{-7}$
T	1	$5,79 \cdot 10^{-2+}$	$3,31 \cdot 10^{-2+}$	$5,88 \cdot 10^{-3+}$	$8,16 \cdot 10^{-5+}$	$9,63 \cdot 10^{-6+}$	$4,29 \cdot 10^{-4+}$
T^2	1	$3,48 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	$5,29 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-6}$	$2,89 \cdot 10^{-7}$	$3,02 \cdot 10^{-5*}$
$t \times T$	1	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$8,95 \cdot 10^{-4}$	$2,29 \cdot 10^{-7}$	$6,58 \cdot 10^{-7}$	$6,74 \cdot 10^{-8}$	$7,00 \cdot 10^{-6}$
Greška	3	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$9,29 \cdot 10^{-5}$	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$3,78 \cdot 10^{-7}$	$3,61 \cdot 10^{-6}$
r^2		0,983	0,982	0,992	0,981	0,978	0,996

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

U tabeli 4.25. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirane uzorke korena celera u rastvoru R_1 . Iz ove tabele se vidi da u SOP modelima za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC najveći uticaj imaju linearni članovi T i t, statistički značajno na nivou $p < 0,01$. Primetan je i uticaj kvadratnog člana T u SOP modelu za predikciju FC, statistički značajno na nivou $p < 0,05$. Ostali kvadratni članovi i član proizvoda $t \times T$ nisu pokazali statistički značajan uticaj na izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC u SOP modelima.

Vrednosti greške modela nisu statistički značajne ni za jedan od ispitivanih modela odziva što znači da primenjeni SOP modeli adekvatno opisuju promenu antioksidativne aktivnosti i sadržaja ukupnih fenola tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 . Vrednosti koeficijenta determinacije r^2 za FRAP (0,983), ABTS (0,982), DPPH (0,992), HPMC (0,981), MRAP (0,978), FC (0,996) su veoma visoke što ukazuje na dobro poklapanje rezultata razvijenih SOP modela sa eksperimentalnim vrednostima odziva.

U tabeli 4.26. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.26. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,498±0,103 ⁺	1,083±0,080 ⁺	0,462±0,023 ⁺	0,041±0,004 ⁺	0,020±0,001 ⁺	0,169±0,005 ⁺
β_1	-0,034±0,030	0,008±0,024	-0,016±0,007 ^{**}	-0,001±0,001	0,000±0,000	-0,003±0,001
β_{11}	-0,001±0,004	-0,004±0,003	0,000±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_2	-0,010±0,006	-0,011±0,004 ^{**}	-0,004±0,001 ^{**}	-0,001±0,000 ^{**}	0,000±0,000	-0,002±0,000 ⁺
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 [*]
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10

U tabeli 4.27. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirane uzorke korena celera u rastvoru R₂. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje FRAP najveći uticaj imaju linearni članovi T i t, statistički značajno na nivou p<0,05 i p<0,10, respektivno. U SOP modelima za izračunavanje ABTS, DPPH, HPMC i MRAP najveći uticaj imaju linearni članovi T i t, statistički značajno na nivou p<0,01. Kvadratni član t je uticajan u SOP modelu za izračunavanje DPPH, a kvadratni član T je uticajan u SOP modelu za izračunavanje HPMC, statistički značajno na nivou p<0,05. Linearni član t je najuticajniji u SOP modelu za predikciju FC, statistički značajno na nivou p<0,05. Na niskom nivou značajnosti p<0,10, formiranju polinoma drugog reda za odziv FC, doprinosi i linearni član T. Ostali članovi polinoma, ne utiču statistički značajno na formiranje modela odziva FC.

Tabela 4.27. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂ (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
t	1	2,10·10 ^{-4**}	2,43·10 ⁻⁴⁺	2,89·10 ⁻⁴⁺	5,05·10 ⁻⁷⁺	2,17·10 ⁻⁶⁺	1,98·10 ^{-5*}
t ²	1	7,38·10 ⁻⁷	5,12·10 ⁻⁷	1,62·10 ^{-5*}	3,36·10 ⁻⁹	2,28·10 ⁻⁷	2,06·10 ⁻⁷
T	1	6,41·10 ^{-4*}	4,36·10 ⁻⁴⁺	5,07·10 ⁻⁵⁺	2,73·10 ⁻⁶⁺	1,57·10 ⁻⁶⁺	1,35·10 ^{-5**}
T ²	1	4,28·10 ⁻⁶	1,45·10 ^{-5**}	3,74·10 ⁻⁷	2,09·10 ^{-7*}	5,69·10 ⁻¹¹	6,78·10 ⁻⁷
t × T	1	6,13·10 ⁻⁸	7,17·10 ⁻⁶	2,48·10 ⁻⁷	1,82·10 ^{-7*}	2,05·10 ⁻⁸	7,11·10 ⁻⁷
Greška 3		9,81·10 ⁻⁵	7,72·10 ⁻⁶	3,26·10 ⁻⁶	2,84·10 ⁻⁸	1,66·10 ⁻⁷	4,76·10 ⁻⁶
r ²		0,897	0,989	0,991	0,992	0,960	0,880

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

Ni za jedan od ispitivanih modela odziva nije uočena statistički značajna greška, što znači da primenjeni SOP modeli adekvatno opisuju promenu antioksidativne aktivnosti i sadržaja ukupnih fenola tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂. Visoke vrednosti r² za odzive FRAP (0,897), ABTS (0,989), DPPH (0,991), HPMC (0,992), MRAP (0,960), FC (0,880) pokazuju da se rezultati odabranih SOP modela dobro poklapaju sa eksperimentalnim vrednostima odziva sistema.

U tabeli 4.28. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.28. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₂

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,535±0,024 ⁺	1,074±0,007 ⁺	0,452±0,004 ⁺	0,043±0,000 ⁺	0,020±0,001 ⁺	0,159±0,005 ⁺
β_1	0,002±0,007	0,004±0,002	0,007±0,001 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000	0,002±0,002
β_{11}	0,000±0,001	0,000±0,000	-0,001±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_2	0,000±0,001	0,002±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000 ^{**}	0,000±0,000	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10

U tabeli 4.29. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirane uzorke lista celera u rastvoru R₁. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelima za izračunavanje ABTS, DPPH, HPMC i FC veliki uticaj ima linearni član t, statistički značajno na nivou p<0,01, odnosno na nivou p<0,05 za FRAP i MRAP. Primetan je i uticaj kvadratnog člana t u SOP modelu za predikciju DPPH, statistički značajno na nivou p<0,05. Uticaj linearnog člana T primećen je samo u SOP modelima za ABTS i FC, statistički značajno na nivou p<0,01.

Tabela 4.29. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
t	1	$3,94 \cdot 10^{-3*}$	$1,21 \cdot 10^{-3+}$	$3,51 \cdot 10^{-4+}$	$1,30 \cdot 10^{-5+}$	$1,31 \cdot 10^{-6*}$	$3,05 \cdot 10^{-5+}$
t^2	1	$3,64 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-4*}$	$4,66 \cdot 10^{-7}$	$1,41 \cdot 10^{-8}$	$5,53 \cdot 10^{-7}$
T	1	$7,89 \cdot 10^{-5}$	$8,43 \cdot 10^{-4+}$	$1,65 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-7}$	$4,32 \cdot 10^{-7}$	$3,07 \cdot 10^{-5+}$
T^2	1	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$7,49 \cdot 10^{-6}$	$1,09 \cdot 10^{-10}$	$1,63 \cdot 10^{-9}$	$1,19 \cdot 10^{-8}$	$1,09 \cdot 10^{-8}$
$t \times T$	1	$6,51 \cdot 10^{-4}$	$4,09 \cdot 10^{-5}$	$2,96 \cdot 10^{-6}$	$1,43 \cdot 10^{-8}$	$5,59 \cdot 10^{-8}$	$5,85 \cdot 10^{-7}$
Greška 3		$6,85 \cdot 10^{-4}$	$3,64 \cdot 10^{-5}$	$1,4610^{-5}$	$9,25 \cdot 10^{-7}$	$2,66 \cdot 10^{-7}$	$1,39 \cdot 10^{-6}$
r^2		0,877	0,983	0,971	0,963	0,873	0,987

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

Ni za jednu vrednost greške metode nije uočena statistička značajnost, što ukazuje da se rezultati svih SOP modela na zadovoljavajući način poklapaju sa eksperimentalnim vrednostima odziva. Visoke vrednosti koeficijena determinacije za predikciju FRAP (0,877), ABTS (0,983), DPPH (0,971), HPMC (0,963), MRAP (0,873), FC (0,987) još jednom potvrđuju dobro poklapanje rezultata modela ispitivanih odziva sa eksperimentalnim vrednostima.

U tabeli 4.30. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.30. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₁

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,440±0,063 ⁺	1,000±0,014 ⁺	0,425±0,009 ⁺	0,044±0,002 ⁺	0,019±0,001 ⁺	0,159±0,003 ⁺
β_1	0,004±0,019	-0,007±0,004	-0,016±0,003 ⁺	-0,002±0,001	0,000±0,000	0,000±0,001
β_{11}	0,000±0,003	-0,001±0,001	0,002±0,000 [*]	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_2	-0,002±0,003	-0,001±0,001	0,000±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10

U tabeli 4.31. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC za osmotski tretirani list celera u rastvoru R₂. Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje FRAP, ABTS, HPMC i MRAP najveći uticaj imaju linearni članovi T i t, statistički značajno na nivou p<0,01. U SOP modelima za izračunavanje FC najveći uticaj ima linearni član t, statistički značajno na nivou p<0,01. Linearni članovi t i T imaju najveći uticaj na predikciju DPPH, statistički značajno na nivou p<0,10, a linearni član T ima značajan uticaj na izračunavanje FC, statistički značajno na nivou p<0,10. Ostali članovi polinoma ne doprinose statistički značajno formiranju modela ispitivanih odziva.

Tabela 4.31. ANOVA modela za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂ (zbir kvadrata razlika)

Član	Df	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
t	1	$7,61 \cdot 10^{-4+}$	$1,05 \cdot 10^{-3+}$	$2,95 \cdot 10^{-4**}$	$7,58 \cdot 10^{-6+}$	$4,80 \cdot 10^{-6+}$	$4,70 \cdot 10^{-5+}$
t ²	1	$4,67 \cdot 10^{-6}$	$2,87 \cdot 10^{-5}$	$4,20 \cdot 10^{-5}$	$3,12 \cdot 10^{-8}$	$2,85 \cdot 10^{-7}$	$5,60 \cdot 10^{-7}$
T	1	$8,15 \cdot 10^{-4+}$	$6,43 \cdot 10^{-4+}$	$2,28 \cdot 10^{-4**}$	$7,87 \cdot 10^{-6+}$	$2,45 \cdot 10^{-6+}$	$9,83 \cdot 10^{-6**}$
T ²	1	$2,28 \cdot 10^{-7}$	$2,32 \cdot 10^{-5}$	$1,38 \cdot 10^{-5}$	$3,63 \cdot 10^{-8}$	$1,24 \cdot 10^{-7}$	$8,74 \cdot 10^{-7}$
t × T	1	$6,28 \cdot 10^{-6}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$3,87 \cdot 10^{-5}$	$1,79 \cdot 10^{-8}$	$9,42 \cdot 10^{-7}$	$3,89 \cdot 10^{-6}$
Greška	3	$5,14 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$9,21 \cdot 10^{-5}$	$3,32 \cdot 10^{-7}$	$6,16 \cdot 10^{-7}$	$4,96 \cdot 10^{-6}$
r ²		0,969	0,923	0,870	0,979	0,933	0,926

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

S obzirom da nijedna vrednost greške metode nije statistički značajna, može se zaključiti da SOP modeli odziva adekvatno opisuju promenu antioksidativnosti tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂. Pored toga, visoke vrednosti koeficijenata determinacije r² za FRAP (0,696), ABTS (0,923), DPPH (0,870), HPMC (0,979), MRAP (0,933) i FC (0,926) potvrđuju da se rezultati modela dobro poklapanje eksperimentalnih rezultata sa rezultatima modela.

U tabeli 4.32. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.32. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R₂

	FRAP	ABTS	DPPH	HPMC	MRAP	FC
β_0	1,410±0,017	1,020±0,030	0,393±0,023	0,043±0,001	0,021±0,002	0,165±0,005
β_1	0,005±0,005	-0,005±0,009	0,007±0,007	0,001±0,000	0,000±0,001	-0,001±0,002
β_{11}	0,000±0,001	0,001±0,001	-0,001±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_2	0,001±0,001	-0,001±0,002	0,001±0,001	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{22}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000
β_{12}	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000	0,000±0,000

[†]Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10

4.4. Uticaj procesnih parametara na promenu boje korena i lista celera tokom osmotskog tretmana

Boja je bitan pokazatelj senzorskog kvaliteta prehrambenog proizvoda i jedan od ključnih faktora prihvatljivosti od strane potrošača (Koprivica i sar., 2011).

Eksperimentalni rezultati, dobijeni instrumentalnim određivanjem površinske boje na uzorcima svežeg korena i lista celera (kontrolni uzorci) i uzorcima dehidriranim tokom 1, 3 i 5h u osmotskim rastvorima R₁ i R₂, na tri različite temperature (20, 35 i 50°C), prikazani su u tabelama 4.33.-4.36. Boja uzoraka je izražena preko vrednosti parametra svetloće L* i parametara boje a* i b* (a* predstavlja crvenu ili zelenu koordinatu boje, -a*=zelena i +a*=crvena nijansa, dok je b* žuta ili plava koordinata boje, -b*=plava i +b*=žuta nijansa). Sva merenja su rađena u tri ponavljanja, a rezultati su prikazani kao: srednje vrednosti tri merenja ± standardna devijacija.

U tabelama su takođe prikazani rezultati urađenog post-hoc Tukey-evog HSD testa, kako bi se utvrdila značajnost razlika u boji između pojedinačnih uzoraka korena i lista celera.

Tabela 4.33. Parametri boje korena celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Br.	t	T	L*	a*	b*
0	0	20	57,481±0,414 ^c	-5,777±0,041 ^g	9,425±0,081 ^d
1	1	20	58,525±0,764 ^c	-6,075±0,019 ^f	10,741±0,044 ^e
2	1	35	58,936±0,337 ^c	-6,479±0,038 ^e	13,505±0,077 ^a
3	1	50	59,152±0,246 ^c	-6,984±0,020 ^b	15,515±0,097 ^b
4	3	20	61,861±0,772 ^a	-6,673±0,074 ^d	13,727±0,070 ^a
5	3	35	62,951±0,635 ^{ab}	-6,916±0,050 ^b	15,241±0,136 ^b
6	3	50	63,656±0,920 ^b	-7,108±0,058 ^{ac}	16,550±0,072 ^c
7	5	20	62,940±0,472 ^{ab}	-7,002±0,011 ^{bc}	14,582±0,187 ^f
8	5	35	63,006±0,257 ^{ab}	-7,142±0,021 ^a	16,494±0,096 ^c
9	5	50	63,134±0,814 ^{ab}	-7,222±0,048 ^a	17,733±0,108 ^g

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.34. Parametri boje korena celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Br.	t	T	L*	a*	b*
0	0	20	57,481±0,746 ^g	-5,777±0,086 ^b	9,425±0,101 ^b
1	1	20	36,663±0,356 ^f	-0,077±0,001 ^d	22,712±0,113 ^c
2	1	35	23,637±0,259 ^c	-1,121±0,009 ^c	23,584±0,144 ^a
3	1	50	22,800±0,153 ^c	1,837±0,014 ^e	24,224±0,344 ^d
4	3	20	21,066±0,026 ^e	5,223±0,041 ^f	23,321±0,302 ^a
5	3	35	17,837±0,092 ^d	10,140±0,095 ^g	25,106±0,143 ^e
6	3	50	14,964±0,100 ^b	14,708±0,172 ^h	26,964±0,072 ^g
7	5	20	15,173±0,119 ^b	11,150±0,012 ^a	25,883±0,195 ^f
8	5	35	11,429±0,092 ^a	11,373±0,082 ^a	27,825±0,227 ^h
9	5	50	11,146±0,081 ^a	19,134±0,121 ⁱ	29,904±0,278 ⁱ

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.35. Parametri boje lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁

Br.	t	T	L*	a*	b*
0	0	20	16,619±0,141 ^e	-8,675±0,049 ⁱ	15,018±0,125 ^e
1	1	20	17,558±0,145 ^f	-9,011±0,063 ^h	15,791±0,122 ^c
2	1	35	18,522±0,159 ^a	-9,672±0,104 ^g	16,867±0,225 ^a
3	1	50	18,713±0,195 ^{ab}	-10,234±0,065 ^{bc}	17,607±0,129 ^{bd}
4	3	20	18,420±0,158 ^a	-10,159±0,092 ^c	16,028±0,127 ^c
5	3	35	19,180±0,101 ^{bc}	-10,472±0,064 ^{ab}	16,789±0,125 ^a
6	3	50	20,376±0,279 ^d	-11,234±0,089 ^f	17,967±0,110 ^b
7	5	20	19,360±0,193 ^c	-10,686±0,080 ^a	16,525±0,172 ^a
8	5	35	20,218±0,197 ^d	-11,599±0,123 ^e	17,442±0,067 ^d
9	5	50	21,362±0,014 ^g	-12,410±0,081 ^d	17,954±0,221 ^b

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Tabela 4.36. Parametri boje lista celera tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₂

Br.	t	T	L*	a*	b*
0	0	20	16,619±0,256 ^f	-8,675±0,054 ^c	15,018±0,158 ^d
1	1	20	14,869±0,124 ^e	-7,229±0,037 ^d	16,685±0,132 ^e
2	1	35	12,219±0,091 ^c	-5,642±0,008 ^a	17,406±0,145 ^b
3	1	50	10,625±0,107 ^b	-4,648±0,025 ^g	18,892±0,081 ^a
4	3	20	12,048±0,126 ^c	-6,844±0,058 ^e	17,712±0,185 ^b
5	3	35	10,128±0,127 ^d	-5,673±0,016 ^a	18,804±0,090 ^a
6	3	50	9,045±0,071 ^a	-4,115±0,040 ^b	19,870±0,185 ^c
7	5	20	10,836±0,050 ^b	-5,846±0,058 ^f	18,463±0,250 ^a
8	5	35	9,028±0,085 ^a	-4,319±0,062 ^h	19,614±0,055 ^c
9	5	50	8,850±0,064 ^a	-4,186±0,039 ^b	20,622±0,136 ^f

^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih u istoj koloni su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; n=3

Eksperimentalni podaci u tabelama 4.33.-4.36. pokazuju da postoji statistički značajna razlika između svežih i dehidriranih uzoraka, što ukazuje da tretman osmotske dehidratacije statistički značajno menja boju tretiranih tkiva. Na osnovu uporednih rezultata za vrednosti ispitivanih kolornih koordinata, vidi se da postoji razlika između uzoraka dehidriranih u rastvoru R_1 i rastvoru R_2 . Pored zavisnosti boje od tipa osmotskog rastvora uočava se i zavisnost od uslova izvođenja procesa, jer se većina uzoraka statistički značajno razlikovala variranjem parametara temperature i vremena prema usvojenom eksperimentalnom planu.

Za procenu efekata odabranih procesnih parametara (t i T) na promenu odziva sistema (L^* , a^* i b^*), izabrana je statistička metoda odzivne površine - RSM. Razvijeni su matematički modeli koji opisuju promenu posmatranih odziva sistema.

4.4.1. Promena boje tkiva korena celera tokom osmotskog tretmana

Visoka vrednost parametra svetloće $L^*(57,481 \pm 0,746)$, izmerena na površini kontrolnog uzorka, ukazuje na izraženu svetloću tkiva svežeg korena celera (tabele 4.33. i 4.34.). Tokom dehidratacije dolazi do promena vrednosti parametra L^* kod svih dehidriranih uzoraka, u zavisnosti od pre svega vrste osmotskog rastvora, zatim od vremena trajanja procesa dehidratacije, kao i od temperature procesa.

Osmotski tretman u rastvoru R_1 uticao je na povećanje parametra svetloće L^* u uzorcima korena celera. Ovo povećanje je neznatno na šta ukazuju i male promene vrednosti parametra svetloće L^* , tokom svih 5 sati procesa. Rezultati statističke analize pokazuju da, u odnosu na kontrolni uzorak, do statistički značajnog ($p < 0,05$) povećanja vrednosti parametra L^* dolazi tek nakon 3h dehidratacije (tabela 4.33.). Međusobnim upoređivanjem uzoraka korena celera dehidriranih u trajanju od 5h, uočeno je da se povećanje svetloće odvija postepeno sa povećanjem vrednosti procesnih parametara (vremena imerzije i temperature procesa) ali da između njih ne postoji statistički značajna razlika. Maksimalno povećanje parametra L^* u odnosu na vrednost izmerenu u svežem uzorku, postignuto je nakon 5h, na temperaturi od 35°C i iznosi $63,656 \pm 0,920$ (za oko 10% u odnosu na početnu vrednost).

Tokom osmotske dehidratacije korena celera u rastvoru R_2 uočava se značajno smanjenje vrednosti parametra svetloće L^* u svim tretiranim uzorcima, tj. dolazi do tamnjenja tkiva kao

posledice transfera bojenih materija iz melase šećerne repe u tkivo korena celera. U odnosu na kontrolni uzorak, već nakon prvog časa osmotskog tretmana nastaje statistički značajno ($p < 0,05$) smanjenje svetloće tkiva (tabela 4.34.). Početna vrednost parametra L^* opada na $36,663 \pm 0,356$ pri najnižoj, i na $22,880 \pm 0,153$ pri najvišoj temperaturi procesa. Produženjem vremena trajanja dehidratacije i povećanjem procesne temperature statistički značajno se smanjuju vrednosti parametra svetloće L^* , tj. intenzitet tamnjenja tretiranog tkiva korena celera raste sa povećanjem vrednosti procesnih parametara. Nakon 5h procesa tamnjenje je najviše izraženo i parametri svetloće pokazuju dosta niže vrednosti, $15,173 \pm 0,119$ na temperaturi od 20°C , $11,429 \pm 0,092$ na 35°C i $11,146 \pm 0,081$ na maksimalnih 50°C . Navedeni uslovi procesa verovatno su povećali prodiranje bojenih materija iz melase u tkivo korena celera, što je rezultiralo i većim tamnjenjem dehidriranih uzoraka.

Negativna vrednost parametra boje a^* , koja ukazuje na dominaciju zelene boje, izmerena je u uzorku svežeg korena celera, pre osmotskog tretmana ($-5,777 \pm 0,086$).

Vrednosti parametra a^* se smanjuju nakon osmotskog tretmana u rastvoru R_1 , tj. udeo zelenog pigmenta se povećao u tretiranom tkivu korena celera. Povećanje udela zelene boje je značajnije povećanjem vremena trajanja procesa i temperature, ali su te promene mnogo manje u poređenju sa promenama koje se dešavaju osmotskom dehidratacijom u rastvoru R_2 .

Tokom dehidratacije korena celera u rastvoru R_2 vrednosti parametra a^* se povećavaju i dobijaju pozitivan predznak koji ukazuje na udeo crvene boje tkiva dehidriranih uzoraka. Udeo crvene boje dolazi do izražaja u uzorcima tretiranim u rastvoru R_2 , dok u uzorcima tretiranim u rastvoru R_1 nije zapažen, što je opet posledica prodiranja bojenih materija iz rastvora melase kroz polupropustljivu membranu tkiva korena celera. Vrednosti parametra boje a^* , izmerene za uzorke korena celera dehidrirane u rastvoru R_2 , već nakon prvih sat vremena, se značajno razlikuju ($p < 0,05$) od vrednosti za kontrolni uzorak (tabela 4.34.). Na temperaturi od 50°C , nakon prvog sata, vrednost parametra a^* izmerena u tretiranom uzorku, postaje pozitivna i nastavlja dalje postepeno da raste sa povećanjem procesnih parametara. Poređenjem dehidriranih uzoraka korena celera uočava se značajno povećanje udela crvene boje produženjem vremena imerzije i porastom procesne temperature. Nakon 5h procesa, povećanje parametara a^* kreće se u opsegu vrednosti od $11,150 \pm 0,121$ od $19,314 \pm 0,121$, u zavisnosti od temperature, što ukazuje na dominaciju crvene boje u tretiranim uzorcima.

Vrednost parametra boje b^* koja je izmerena u kontrolnom uzorku ($9,425 \pm 0,101$) ukazuje na dominaciju žute boje u tkivu svežeg korena celera. Izmerene vrednosti parametra b^* kod svih dehidriranih uzoraka korena celera su veće u odnosu na kontrolni uzorak, što ukazuje da je udeo žute boje povećan tokom procesa. Najveće promene nastaju na početku procesa, kada je pogonska sila za prenos mase (vode i rastvorene supstance) najveća. Kod svih uzoraka korena celera, dehidriranih u rastvorima R_1 i R_2 , već nakon prvog časa dolazi do statistički značajnog povećanja ($p < 0,05$) vrednosti parametra boje b^* u poređenju sa kontrolnim uzorkom (tabele 4.33.-4.34). U skladu sa trendom povećanja udela žute boje sa povećanjem temperature i vremena imerzije, maksimalna vrednost parametra boje b^* je izmerena nakon 5h procesa, na temperaturi od 50°C , za oba osmotska rastvora. Poređenjem uticaja rastvora R_1 i R_2 na vrednost parametra b^* , uočava se da rastvor R_2 doprinosi intenzivnijem udelu žutog pigmenta u tretiranim uzorcima korena celera. Postignute vrednosti parametra b^* nakon tretmana kretale su se od $10,741 \pm 0,044$ do $17,733 \pm 0,108$ za uzorke tretirane u rastvoru R_1 i od $22,712 \pm 0,113$ do $29,964 \pm 0,278$ u rastvoru R_2 .

4.4.2. Promena boje tkiva lista celera tokom osmotskog tretmana

Tokom osmotske dehidracije dolazi do povećanja vrednosti parametra svetloće L^* kod svih uzoraka lista celera dehidriranih u rastvoru R_1 , a sa druge strane do smanjenja svetloće tj. tamnjenja tkiva kod uzoraka dehidriranih u rastvoru R_2 (tabele 4.35. i 4.36.).

U odnosu na svež list celera ($L^* = 16,619 \pm 0,2$), povećanje parametra L^* u uzorcima tretiranim u osmotskom rastvoru R_1 se odvija postepeno, uz male promene usled povećanja temperature i vremena trajanja procesa.

Isti trend uticaja temperature i vremena važi i za promenu vrednosti L^* parametra lista celera tretiranog u rastvoru R_2 , s tim što u ovom slučaju vrednosti L^* parametra opadaju i promene su izraženije. Povećanjem procesnih parametara dolazi do značajnog tamnjenja tkiva svih tretiranih uzoraka lista celera, kao rezultat transfera bojenih materija iz rastvora melase u tretirano biljno tkivo. Minimalne vrednosti parametra svetloće L^* izmerene su kod najtamnijih uzoraka lista celera dehidriranih 5h, u rastvoru R_2 , na temperaturi od 35°C : $9,028 \pm 0,085$ i na temperaturi od 50°C : $8,850 \pm 0,064$.

Negativna vrednost parametra boje a^* ($-8,675 \pm 0,049$) ukazuje na prisustvo zelenog pigmenta u tkivu svežeg lista celera, što je i očekivano s obzirom na značajno prisustvo hlorofila. Povećanjem temperature i produženjem vremena trajanja procesa smanjuju se vrednosti parametra a^* kod svih uzoraka lista celera tretiranih u rastvoru R_1 , u odnosu na kontrolni uzorak tj. povećava se udeo zelene boje u uzorcima usled koncentrisanja prisutnih zelenih pigmenata unutar tretiranog tkiva. Udeo zelene boje najdominantniji je u uzorku lista celera nakon petočasnog osmotskog tretmana, na temperaturi od 50°C ($-12,410 \pm 0,081$).

Nasuprot tome, povećanje procesnih parametara tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 uzrokuje povećanje vrednosti parametra a^* , tj. smanjuje se udeo zelene boje, iako vrednosti i dalje zadržavaju negativan predznak. List celera tretiran 5h, na 50°C u rastvoru R_2 ima najvišu vrednost parametra a^* ($-4,186 \pm 0,039$).

Pozitivna vrednost parametra boje b^* ($15,018 \pm 0,125$) izmerena u kontrolnom uzorku lista celera, ukazuje na dominantan udeo žute boje u tkivu lista. Tokom dehidracije u oba osmotska rastvora, vrednosti parametra b^* rastu sa povećanjem temperature i produženjem vremena trajanja procesa. Kod uzoraka dehidriranih u rastvoru R_1 vrednosti parametra boje b^* se povećavaju u manjoj meri tokom celokupnog procesa, u odnosu na uzorke dehidrirane u rastvoru R_2 , gde je povećanje udela žutog tona tokom procesa više izraženo. Više temperature i duže vreme imerzije tokom dehidracije u rastvorima R_1 i R_2 utiče na povećanje intenziteta kojim se menjaju vrednosti parametra boje b^* kao posledica većeg izdvajanja vode iz tretiranog biljnog tkiva i koncentrisanja već prisutnih bojenih materija. Pored toga, dehidracijom u rastvoru R_2 , moguće je da na intenziviranje žutog tona u tretiranom listu celera utiče i penetracija bojenih materija iz melase (Koprivica, 2013). Pri najvišim procesnim parametrima, vrednost parametra b^* postignuta za list celera tretiran u rastvoru R_1 je $17,954 \pm 0,221$, dok se za list tretiran u rastvoru R_2 dostiže maksimalna vrednost od $20,662 \pm 0,136$.

Promene koje su nastale osmotskom dehidracijom korena i lista celera u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida su u skladu sa ranijim istraživanjima (Talens i sar., 2002; Radojčin i sar., 2010) koja ukazuju na neznatne promene boje biljnog tkiva tokom osmotske dehidracije u rastvorima saharoze. Atares i sar., (2011) došli su do zaključka da nema velike razlike u boji između sveže i osmotski dehidrirane banane, tokom svih ispitivanih uslova procesa, što ukazuje na dobar senzorni kvalitet dobijenog produkta.

Za vreme osmotskog tretmana dolazi do promene boje biljne sirovine zbog toga što pigmenti kao što su antocijani, karotenoidi, hlorofil i sl. difunduju iz tkiva biljke u osmotske rastvore, pa se neznatno smanjuje intenzitet boje dehidriranog tkiva (Osorio i sar., 2007) ili usled gubitka vode tokom procesa dolazi do povećanja koncentracije prisutnih pigmenata, pa boja dehidriranog produkta postaje nešto intenzivnija (Hereida i sar., 2009). U oba slučaja očigledno je da ne dolazi do degradacije prisutnih pigmenata, nego samo do njihovog transfera, što rezultuje boljim nutritivnim kvalitetom kranjeg produkta.

Blago povećanje vrednosti parametra L^* , u rastvoru šećera i soli, ukazuje da nije došlo do enzimskog tamnjenja tkiva, što se pripisuje zaštitnom efektu saharoze i natrijum hlorida čiji molekuli formiraju sloj na površini tkiva. Izvesno je da tokom osmotskog tretmana dolazi do inhibicije enzima polifenoloksidaze koja je najviše odgovorna za enzimsko tamnjenje voća i povrća. Penetracijom u potopljeno tkivo, osmotski rastvor istiskuje vazduh iz intercelularnih prostora tkiva i popunjava ih, zbog čega prisutna polifenoloksidaza postaje okružena sredinom smanjene aktivnosti vode i dostupnog kiseonika, i onemogućeno je njeno delovanje (Quiles i sar., 2005; Chong i sar., 2013).

Tokom osmotske dehidratacije voća i povrća u rastvorima saharoze i melase šećerne repe, promene mogu nastati usled hemijskih reakcija neenzimskog tamnjenja (Maillard-ova reakcija) (Krokida i sar., 2000). Saharozu u prisustvu vode podleže reakciji hidrolize i razlaže se na glukozu i fruktozu, tj. redukujuće šećere (većinom D-glukoze) koji stupaju u hemijsku reakciju sa slobodnim aminokiselinama ili slobodnim amino grupama na proteinskim lancima što za posledicu ima stvaranje melanoidina koji diktiraju obojenost dehidriranog poluproizvoda. U Maillardovim reakcijama može da učestvuje i invertni šećer prisutan u tkivu biljnog materijala. S obzirom da se reakcije neenzimskog tamnjenja odvijaju sporo i na višim temperaturama, smatra se da blagi temperaturni uslovi i kraće vreme izlaganja uzoraka osmotskom tretmanu mogu sprečiti tamnjenje tkiva usled ovih reakcija (Chiralt i Talens, 2005; Landim i sar., 2016).

Tamnjenje uzoraka korena i lista celera dehidriranih u melasi šećerne repe jednim delom mogu biti posledica neenzimskog tamnjenja prisutnih šećera, a većim delom nastaje kao posledica migracije molekula bojenih materija iz melase šećerne repe (melanoidini) u tretirano biljno tkivo. Specifična boja melase šećerne repe potiče od melanoidina i produkata karamelizacije koji nastaju u procesu proizvodnje saharoze iz šećerne repe. Međutim intenzitet boje melanoidina je oko 5-6 puta veći od intenziteta boje ostalih bojenih materija melase što

znači da obojenost dehidriranih uzoraka, tokom dehidratacije u melasi šećerne repe, potiče od melanoidina iz melase (Koprivica i sar., 2011). Ovaj zaključak u saglasnosti je i sa rezultatima koji ukazuju na povećanu ukupnu antioksidativnost u uzorcima korena i lista celera dehidriranim u melasi, jer je poznato da melanoidini iz melase imaju izražen antioksidativni potencijal (Guimarães i sar., 2007; Milutinović i sar., 2013). Dakle, prisustvo melanoidina u tretiranim uzorcima potvrđeno je povećanim vrednostima parametara L^* , a^* , b^* , FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP tokom osmotskog tretmana u melasi šećerne repe.

4.4.3. Zavisnost kolornih parametara L^* , a^* , b^* od parametara procesa tokom osmotskog tretmana

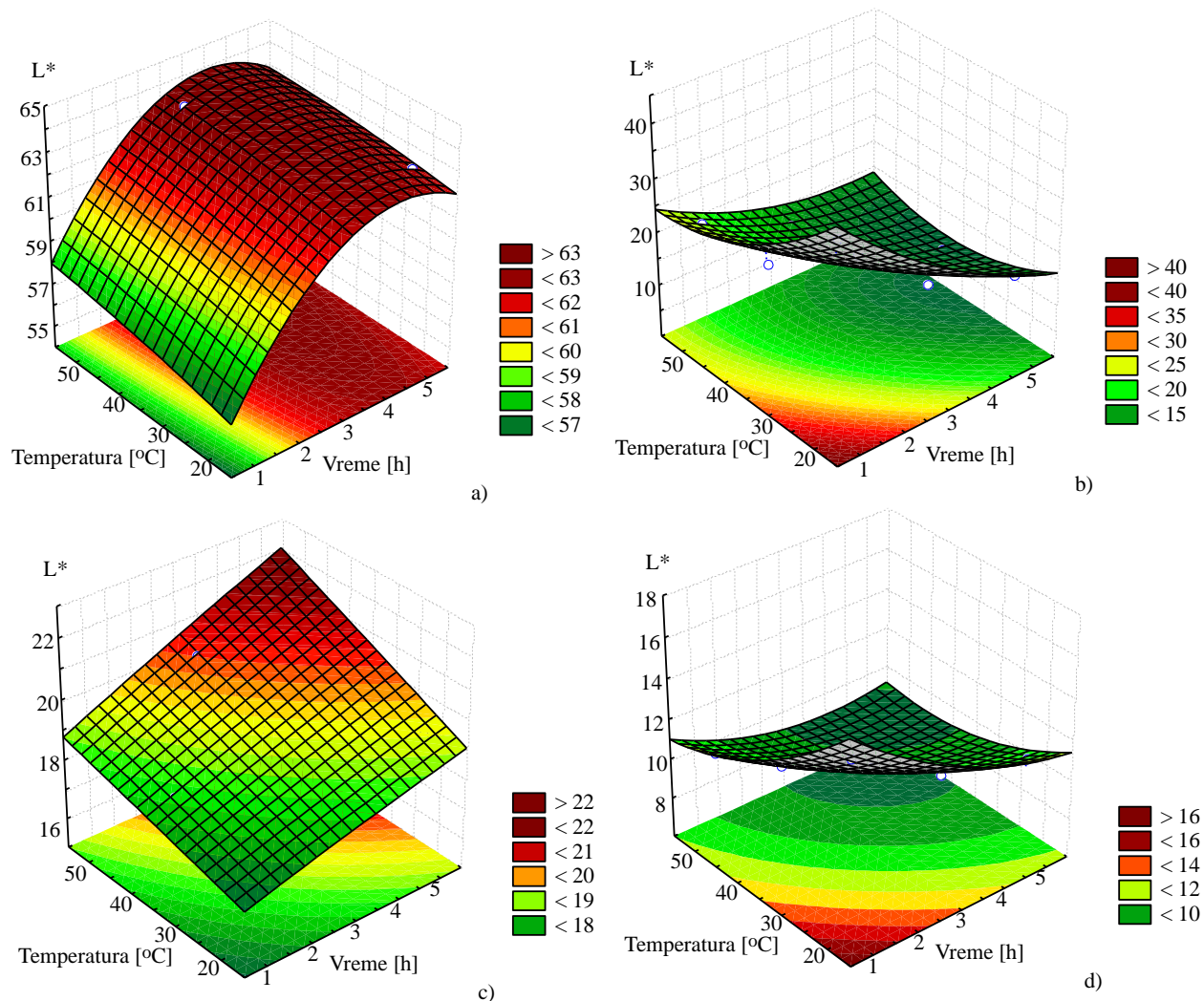
Zavisnost ispitivanih parametara boje L^* , a^* i b^* od promene procesnih parametara (temperature i vremena trajanja procesa), tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 , prikazana je odzivnim površinama a-d (slike 4.11., 4.12. i 4.13.). Odzivne površine predstavljaju vizuelni prikaz formiranih matematičkih modela za odzive L^* , a^* i b^* .

Na slici 4.11. prikazane su odzivne površine, definisane SOP modelima za izračunavanje L^* , za uzorke korena i lista celera dehidrirane u rastvoru R_1 (a i c) i rastvoru R_2 (b i d).

Povećanjem temperature procesa i produženjem vremena trajanja dehidratacije rastu vrednosti parametra svetloće L^* , kod uzoraka korena i lista celera osmotski dehidriranih u rastvoru R_1 . Tokom osmotske dehidratacije korena celera vreme trajanja celokupnog tretmana ima veći uticaj na nastale promene, tj. na povećanje svetloće tkiva (dijagram a). Primena rastvora R_1 u početnim fazama procesa nije prouzrokovala veći porast u svetloći tkiva, a nešto značajnije povećanje vrednosti L^* parametra dolazi do izražaja nakon 1h, dok već posle 3h teži konstantnim vrednostima, nezavisno od temperature procesa. S druge strane, uticaj temperature i trajanja procesa podjednako utiče na postepeno povećanje vrednosti parametra L^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (dijagram c). U oba slučaja kvantitativno povećanje vrednosti parametara svetloće nije veliko.

Povećanjem procesnih parametara postepeno se smanjuju vrednosti L^* parametra tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u rastvoru R_2 (b i d). Na intenzitet tamnjenja tkiva korena celera više utiče dužina trajanja osmotskog tretmana, mada i temperatura ima važan uticaj. Postepenim porastom temperature i vremena imerzije uočava se pravilno opadanje

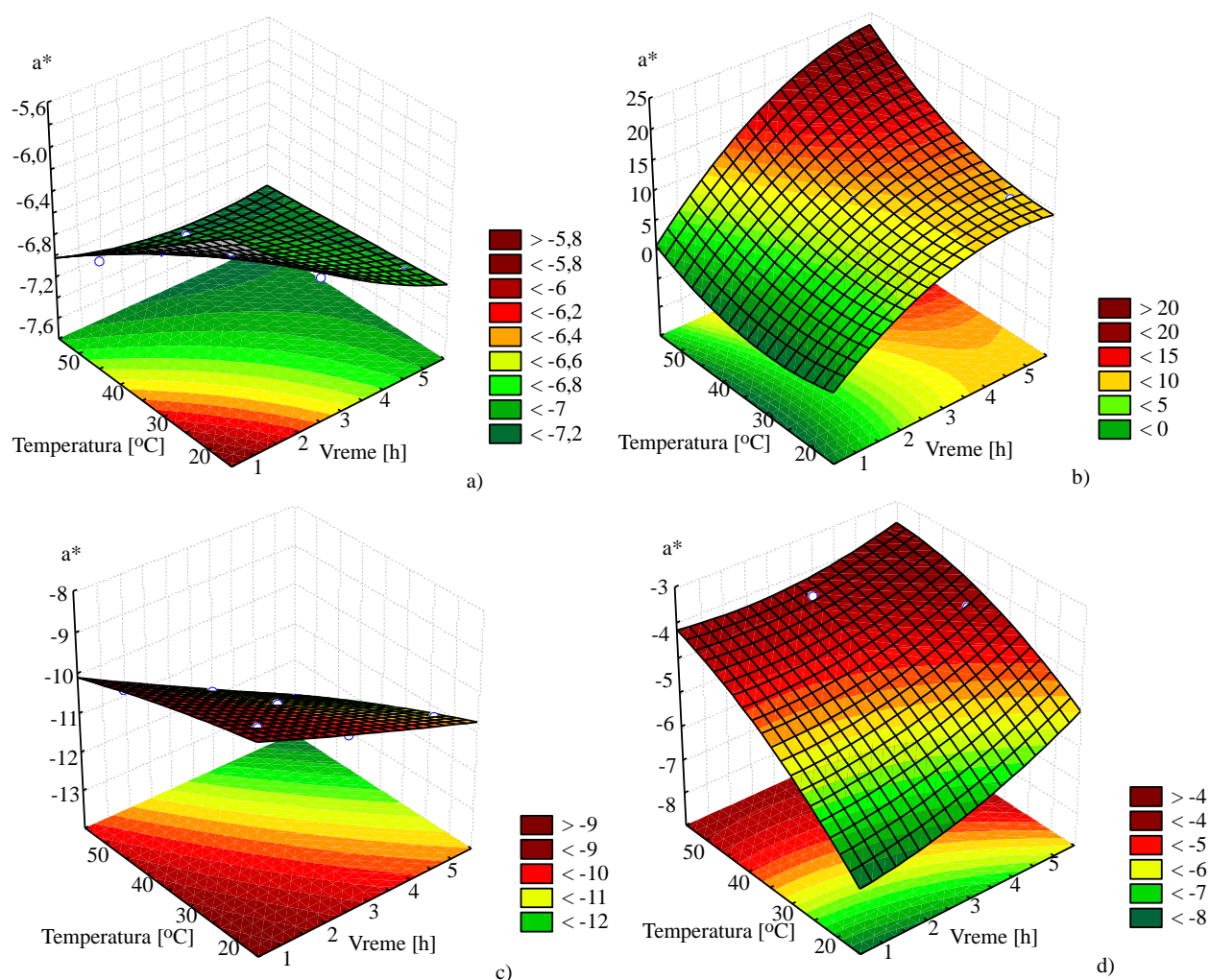
parametara L^* tokom osmotskog tretmana lista celera u istom rastvoru, tj. veći stepen tamnjenja tkiva.



Slika 4.11. Promena svetloće tkiva (L^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R_1 , b) korena celera u rastvoru R_2 , c) lista celera u rastvoru R_1 , d) lista celera u rastvoru R_2 .

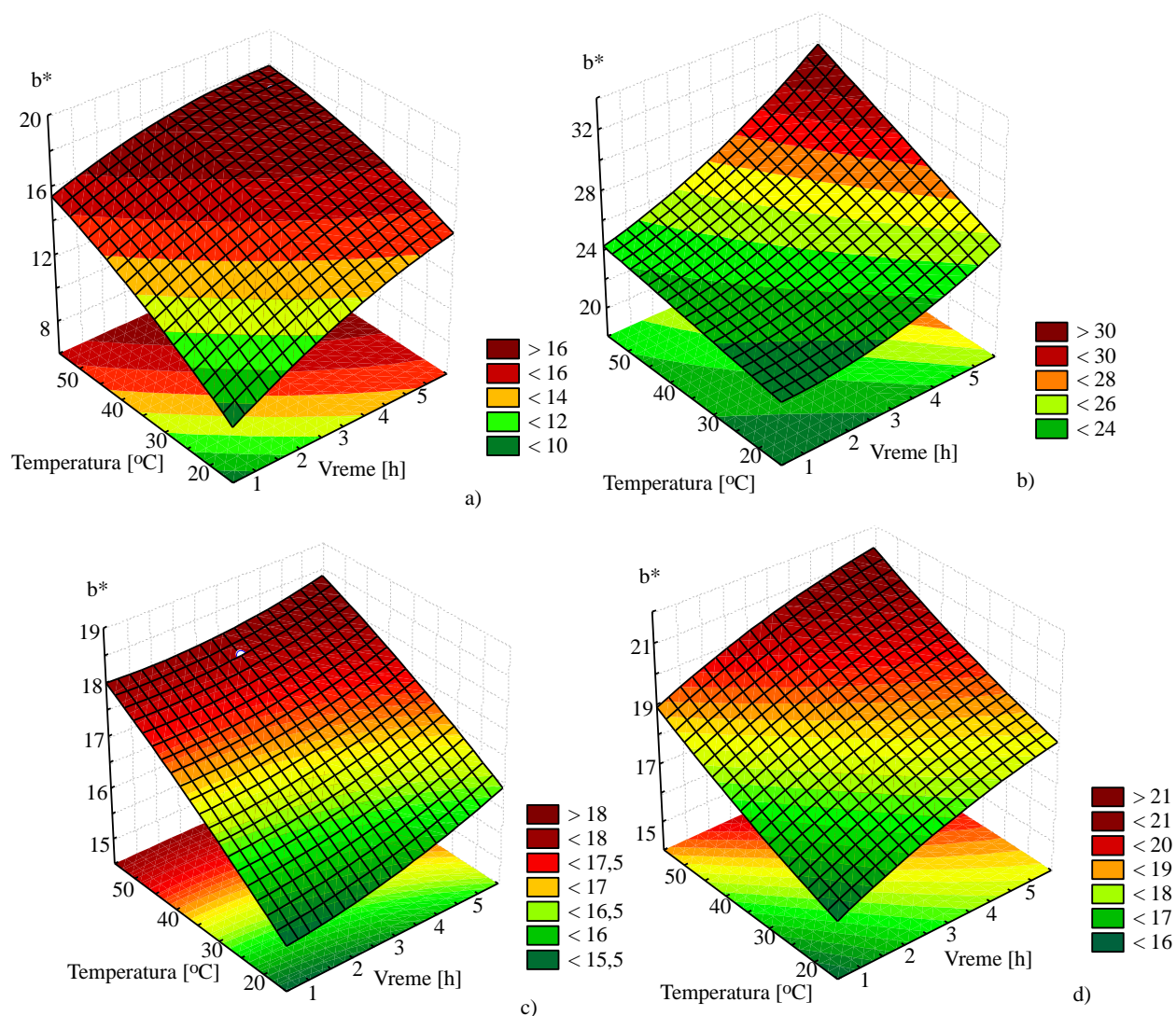
Kada se kao osmotski rastvor tokom dehidracije koristi rastvor R_1 primetno je smanjenje negativnih vrednosti a^* parametra tj. povećanje udela zelene boje kod korena i lista celera (slika 4.12., a i c). Promenu parametra a^* karakteriše sličan trend uticaja procesnih parametara kako za koren, tako i za list tretiran u istom rastvoru. Sa porastom temperature i vremena imerzije tokom čitavog procesa ravnomerno opadaju vrednosti parametra a^* , za koren i list celera.

U slučaju dehidracije korena i lista celera u rastvoru R_2 , zapaža se obrnuta zavisnost, jer se povećanjem procesnih parametara (t i T) povećavaju vrednosti parametra a^* tj. smanjuje se udeo zelene boje, a pojačava udeo crvenog obojenja. Za uzorke korena celera vrednosti parametra a^* postaju pozitivne i rastu intenzivno i pravilno sa povećanjem temperature i trajanja procesa. Kod osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 , uticaj temperature i vremena trajanja procesa je podjednako značajan, ali su promene vrednosti parametra a^* manje izražene ako se uporede sa promenama za koren celera i zadržavaju negativnu vrednost tj. dominaciju zelene boje .



Slika 4.12. Promena udela zelene/crvene boje (a^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R_1 , b) korena celera u rastvoru R_2 , c) lista celera u rastvoru R_1 , d) lista celera u rastvoru R_2 .

Posmatranjem slike 4.13., na sva četiri dijagrama (a-d) uočava se isti trend uticaja temperature i vremena imerzije na promene vrednosti parametra b^* . Povećanjem temperature i produženjem trajanja osmotskog tretmana povećava se udeo žute boje kod svih dehidriranih uzoraka. Uticaj temperature i vremena procesa je podjednako značajan pri povećanju parametra b^* tokom procesa za sva četiri slučaja, a veći stepen povećanja udela žute boje uočava se za uzorke korena i lista celera dehidrirane u rastvoru R_2 (b i d) u odnosu na uzorke dehidrirane u rastvoru R_1 (a i c).



Slika 4.13. Promena udela žute/plave boje (b^*) u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R_1 , b) korena celera u rastvoru R_2 , c) lista celera u rastvoru R_1 , d) lista celera u rastvoru R_2 .

4.4.4. Matematički modeli odziva L^* , a^* , b^* tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

U tabelama 4.37., 4.39., 4.41. i 4.43. prikazani su rezultati analize varijanse (ANOVA) SOP modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* , formiranih na osnovu eksperimentalnih vrednosti za uzorke korena i lista celera osmotski tretirane u rastvorima R_1 i R_2 . Rezultati pokazuju uticaj članova kvadratnih polinoma (linearni i kvadratni) za nezavisno promenljive t i T , kao i člana međuzavisnosti ovih promenljivih ($t \times T$) na formiranje SOP modela, na nivou statističke značajnosti $p < 0,01$, $p < 0,05$ i $p < 0,10$. Na osnovu tih rezultata može se izvesti zaključak o značajnosti uticaja vremena imerzije i koncentracije rastvora saharoze na promenu vrednosti parametara L^* , a^* i b^* .

U tabeli 4.37. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1 . Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje L^* najveći uticaj ima linearni član t , statistički značajno na nivou $p < 0,01$, a uticaj kvadratnog člana t je takođe veoma uticajan, statistički značajno na nivou $p < 0,05$. Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje a^* imaju linearni članovi t i T , kao i nelinearni član $t \times T$ ($p < 0,01$). Na formiranje SOP modela odziva b^* statistički značajan uticaj imaju linearni članovi t i T , na istom nivou uticajnosti $p < 0,01$.

Tabela 4.37. ANOVA modela za predikciju odziva L*, a*, b* prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R₁ (zbir kvadarta razlika)

Član	Df	L*	a*	b*
t	1	25,903 ⁺	0,557 ⁺	13,645 ⁺
t ²	1	7,022 [*]	0,013	0,338
T	1	1,141	0,407 ⁺	19,252 ⁺
T ²	1	0,015	0,000	0,148
t × T	1	0,047	0,119 ⁺	0,659
Greška	3	0,656	0,008	0,462
r ²		0,981	0,992	0,987

⁺Statistički značajan na nivou p<0,01, ^{*}Statistički značajan na nivou p<0,05,

^{**}Značajan na nivou p<0,10, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni

Df - broj stepeni slobode

Vrednosti greške modela nisu statistički značajne što potvrđuje dobro poklapanje rezultata formiranih SOP modela i eksperimentalnih vrednosti posmatranih odziva. Visoke vrednosti koeficijenata determinacije za sve modele odziva L* (0,981), a* (0,992), b*(0,987), pokazuju da se rezultati razvijenih modela dobro poklapaju sa eksperimentalnim podacima.

U tabeli 4.38. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.38. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* prilikom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_1

	L^*	a^*	b^*
β_0	53,682±1,935 ⁺	-5,037±0,218 ⁺	5,086±1,625 ^{**}
β_1	3,976±0,574 ⁺	-0,476±0,065 ⁺	1,844±0,482 [*]
β_{11}	-0,468±0,083 [*]	0,020±0,009	-0,103±0,069
β_2	0,067±0,106	-0,035±0,012 ^{**}	0,245±0,089 ^{**}
β_{22}	0,000±0,001	0,000±0,000	-0,001±0,001
β_{12}	-0,004±0,008	0,006±0,001 ⁺	-0,014±0,007

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*} Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**} Značajan na nivou $p < 0,10$

U tabeli 4.39. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 . Iz ove tabele se uočava da u SOP modelu za izračunavanje L^* najveći uticaj ima linearni član t statistički značajno na nivou $p < 0,01$, ali je primetan i uticaj linearnog člana T , na nivou uticajnosti $p < 0,05$. Uočava se isti trend uticaja, na formiranje modela odziva a^* , pa je tako linearni član t statistički značajan na nivou $p < 0,01$ i linearni člana T , na nivou $p < 0,05$, dok ostali članovi polinoma nemaju statistički značajan uticaj. Na modelovanje odziva b^* linearni članovi vremena i temperature imaju veoma značajan uticaj, na nivou $p < 0,01$, proizvod ova dva parametra ($t \times T$) ima takođe statistički značajan uticaj na nivou $p < 0,05$, a i kvadratni član vremena ima uticaj ali je on najmanje statističke značajnosti ($p < 0,10$).

Tabela 4.39. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2 (zbir kvadarta razlika)

Član	Df	L^*	a^*	b^*
t	1	342,795 ⁺	280,419 ⁺	28,569 ⁺
t^2	1	9,552	17,694	0,624 ^{**}
T	1	95,926 [*]	62,620 [*]	14,036 ⁺
T^2	1	14,231	6,957	0,000
$t \times T$	1	24,189	9,212	1,573 [*]
Greška 3		15,238	12,061	0,269
r^2		0,970	0,969	0,994

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

Na osnovu tabele zapaža se da nijedna greška modela nema statističku značajnost, što potvrđuje dobro poklapanje rezultata formiranih matematičkih modela sa eksperimentalnim rezultatima. Koeficijenti determinacije r^2 za sva tri modela odziva imaju visoke vrednosti L^* (0,970), a^* (0,969) i b^* (0,994) ukazujući na to da rezultati razvijenih modela dobro poklapaju sa eksperimentalnim podacima.

U tabeli 4.40. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.40. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana korena celera u rastvoru R_2

	L^*	a^*	b^*
β_0	64,892±9,326	-0,239±8,297	21,721±1,240
β_1	-9,926±2,767	6,109±2,461	-0,478±0,368
β_{11}	0,546±0,398	-0,744±0,354	0,140±0,053
β_2	-1,342±0,512	-0,517±0,456	0,041±0,068
β_{22}	0,012±0,007	0,008±0,006	0,000±0,001
β_{12}	0,082±0,038	0,051±0,033	0,021±0,005

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$

U tabeli 4.41. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 . Na osnovu ove ove tabele se uočava da u SOP modelu za izračunavanje sva tri odziva L^* , a^* i b^* najveći uticaj imaju linearni član t i T , statistički značajno na nivou $p < 0,01$. Ostali članovi polinoma ne doprinose statistički značajno formiranju modela posmatranih odziva.

Tabela 4.41. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1 (zbir kvadarta razlika)

Član	Df	L^*	a^*	b^*
t	1	6,299 ⁺	5,563 ⁺	0,457 ⁺
t^2	1	0,003	0,001	0,021
T	1	4,358 ⁺	2,696 ⁺	4,479 ⁺
T^2	1	0,000	0,003	0,006
$t \times T$	1	0,180	0,063	0,037
Greška	3	0,192	0,087	0,103
r^2		0,983	0,990	0,980

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode.

Visoke vrednosti koeficijena determinacije $L^*(0,983)$, $a^*(0,990)$ i $b^*(0,980)$ pokazuju dobro poklapanje rezultata razvijenih matematičkih modela sa eksperimentalnim podacima, što potvrđuje i da greške modela nisu statistički značajne .

U tabeli 4.42. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.42. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_1

	L^*	a^*	b^*
β_0	16,419±1,048 ⁺	-8,206±0,703 ⁺	14,133±0,767 ⁺
β_1	0,320±0,311	-0,364±0,209	0,097±0,227
β_{11}	-0,009±0,045	0,005±0,030	0,026±0,033
β_2	0,038±0,058	-0,019±0,039	0,084±0,042
β_{22}	0,000±0,001	0,000±0,001	0,000±0,001
β_{12}	0,007±0,004	-0,004±0,003	-0,003±0,003

⁺Statistički značajan na nivou $p<0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p<0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p<0,10$

U tabeli 4.43. prikazana je ANOVA kalkulacija razvijenog SOP modela za izračunavanje L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 . Iz ove tabele se vidi da u SOP modelu za izračunavanje L^* najveći uticaj imaju linearni članovi t i T , statistički značajno na nivou $p<0,01$, a uticaj ostalih nelinearnih i kvadratnih članova je takođe veoma izražen, statistički značajan na nivou $p<0,01$. Najveći uticaj u SOP modelu za izračunavanje a^* i b^* imaju linearni članovi t i T ($p<0,01$).

Tabela 4.43. ANOVA modela za predikciju odziva L^* , a^* i b^* tokom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2 (zbir kvadarta razlika)

Član	Df	L^*	a^*	b^*
t	1	13,494 ⁺	1,672 ⁺	5,445 ⁺
t^2	1	0,882 ⁺	0,108	0,066
T	1	14,206 ⁺	8,096 ⁺	7,093 ⁺
T^2	1	0,689 ⁺	0,142	0,020
$t \times T$	1	1,275 ⁺	0,212	0,001
Greška 3		0,060	0,389	0,082
r^2		0,998	0,963	0,994

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*}Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**}Značajan na nivou $p < 0,10$, članovi koji nisu obeleženi nisu statistički značajni.

Df - broj stepeni slobode

S obzirom da ni za jedan odziv nema statistički značajne greške modela i da su koeficijenti determinacije visoki $L^*(0,998)$, $a^*(0,963)$ i $b^*(0,994)$, može se zaključiti da se rezultati formiranih SOP modela dobro poklapaju sa eksperimentalnim vrednostima posmatranih odziva.

U tabeli 4.44. regresioni koeficijenti su prikazani srednjom vrednošću i standardnom devijacijom, a statistička značajnost rezultata je izražena preko p - vrednosti.

Tabela 4.44. Regresioni koeficijenti polinoma drugog stepena za predikciju odziva L^* , a^* i b^* prilikom osmotskog tretmana lista celera u rastvoru R_2

	L^*	a^*	b^*
β_0	22,522±0,587 ⁺	-10,604±1,490 ⁺	14,853±0,683 ⁺
β_1	-2,404±0,174 ⁺	0,184±0,442	0,763±0,203 [*]
β_{11}	0,166±0,025 ⁺	0,058±0,064	-0,045±0,029
β_2	-0,342±0,032 ⁺	0,183±0,082	0,043±0,038
β_{22}	0,003±0,000 ⁺	-0,001±0,001	0,000±0,001
β_{12}	0,019±0,002 ⁺	-0,008±0,006	0,000±0,003

⁺Statistički značajan na nivou $p < 0,01$, ^{*} Statistički značajan na nivou $p < 0,05$,

^{**} Značajan na nivou $p < 0,10$

4.5. Uticaj procesnih parametara na mineralni sastav korena i lista celera tokom osmotskog tretmana

Na dijagramima (slike 4.14.-4.17.) prikazane su eksperimentalne vrednosti (srednje vrednosti tri merenja \pm standardna devijacija) sadržaja mineralnih materija (K, Mg, Ca i Fe) u svežim uzorcima korena i lista celera (kontrolni uzorci) i uzorcima osmotski dehidriranim u rastvorima R_1 i R_2 . Eksperimentalni podaci predstavljaju promene sadržaja posmatranih mineralnih materija u tretiranim uzorcima u odnosu na kontrolne, u zavisnosti od vrednosti procesnih parametara (t i T) variranih prema usvojenom eksperimentalnom planu. Vrednosti sadržaja mineralnih materija u kontrolnim i osmotski dehidriranim uzorcima su izražene u mg/100g polaznog uzorka. Podaci u dijagramima takođe prikazuju rezultate urađenog post-hoc Tukey-evog HSD testa, na osnovu kojih se procenjuje značajnost razlika u sadržajima ispitivanih minerala, između pojedinačnih uzoraka korena i lista celera.

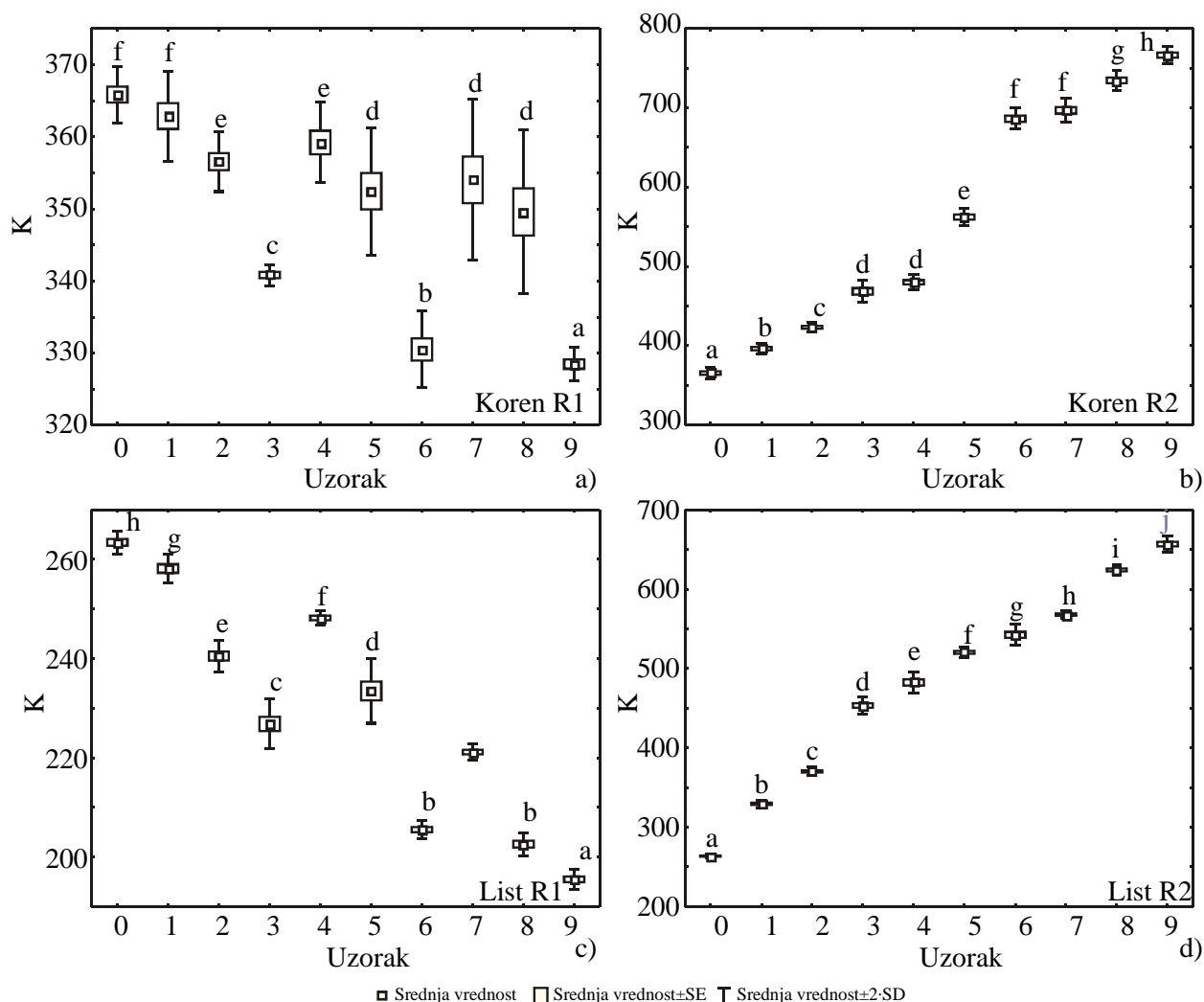
4.5.1. Promena sadržaja K tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Dijagrami prikazani na slici 4.14. pokazuju promenu sadržaja minerala kalijuma tokom osmotske dehidracije korena i lista celera u osmotskim rastvorima R_1 i R_2 . Početni sadržaj kalijuma za koren celera iznosio je 365,85 mg/100g, dok je za svež list celera ova vrednost nešto niža, 263,45 mg/100g. U zavisnosti od prirode primenjenog osmotskog rastvora tokom procesa, uočavaju se različiti trendovi uticaja rastvora na promenu početnog sadržaja, za oba biljna materijala.

Tokom osmotskog tretmana uzoraka korena i lista celera u rastvoru R_1 , dolazi do smanjenja sadržaja K u odnosu na njihov sadržaj u kontrolnim uzorcima. Smanjenja sadržaja ovog minerala verovatno je posledica njegovog transfera iz tretiranih uzoraka u rastvore u koji su uzorci potopljeni.

Međusobnim poređenjem uzoraka, dehidriranih različit vremenski period (1, 3 i 5h) i na različitim temperaturama (20, 35, i 50°C) u rastvoru R_1 , uočava se da između svih uzoraka postoji statistički značajna razlika (slika 4.14., dijagrami a i c) Sa povećanjem dužine trajanja procesa i povećanjem temperature dolazi do postepenog gubitka K u uzorcima. U skladu sa trendom smanjenja sadržaja K sa povećanjem procesne temperature i vremena imerzije, najmanja vrednost je izmerena u uzorcima korena i lista celera osmotski dehidriranim u rastvoru R_1 na 50°C, nakon 5h. Gubici K tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_1 nisu veliki, a nešto veće sniženje K u odnosu na polazni uzorak zapaža se kod lista, u odnosu na koren celera.

S druge strane, tokom osmotskog tretmana u rastvoru R_2 dolazi do povećanja sadržaja K u odnosu na početnu vrednost, u uzorcima korena i lista celera (slika 4.14., dijagrami b i d). Porast ovog minerala u tretiranim uzorcima potkrepljuje činjenica da melasa šećerne repe u svom sastavu sadrži približno 4000mg/100g kalijuma (Filipčev i sar., 2008), pa je izvesno da masenim transferom tokom procesa, kalijum iz melase difunduje u tretirana biljna tkiva. Povećanjem temperature procesa i vremena imerzije u melasi, ravnomerno i pravilno rastu i vrednosti sadržaja K u svim osmotski dehidriranim uzorcima.

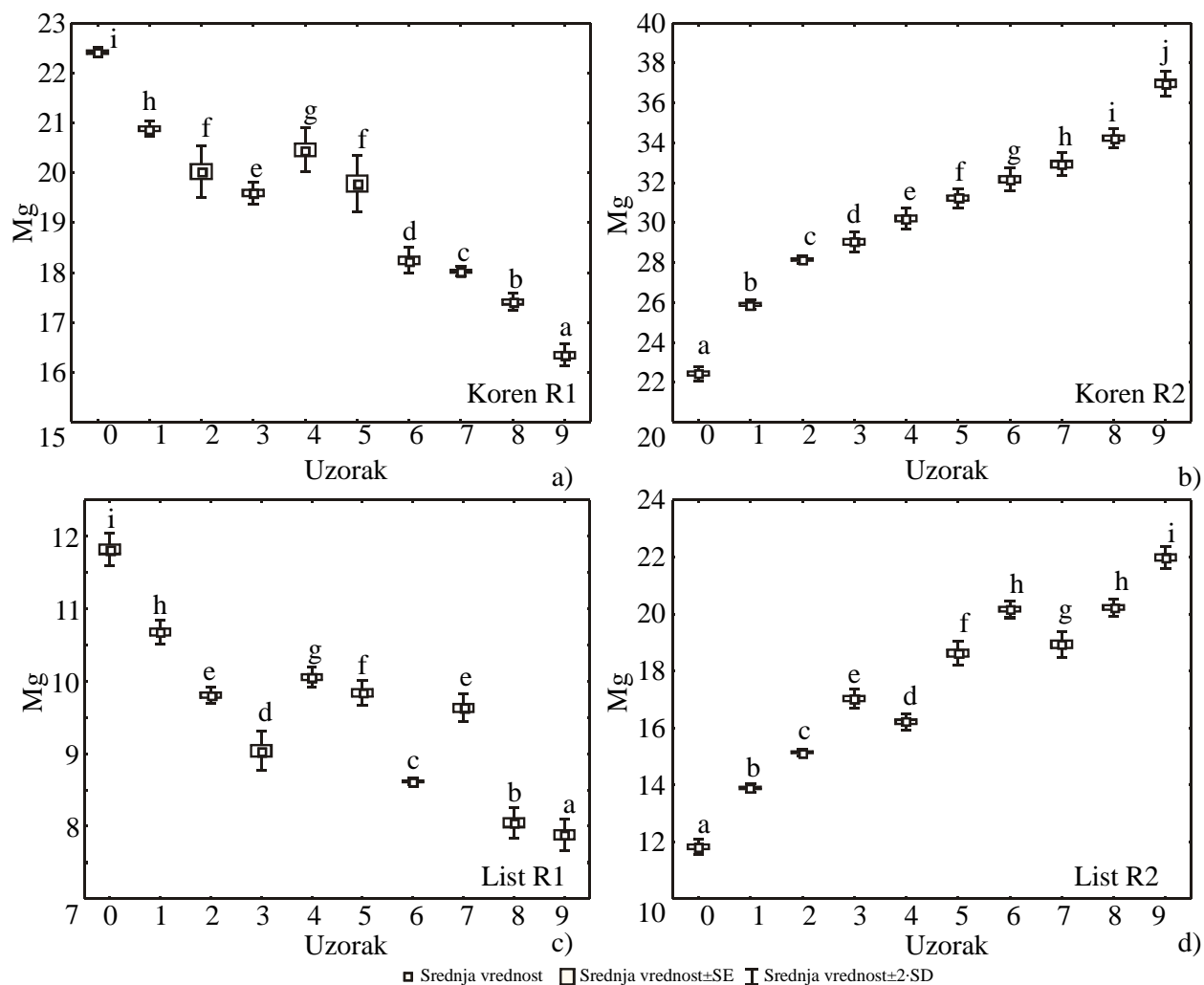


Slika 4.14. Promena sadržaja K u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂. ^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih na istoj slici su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou p<0,05; 0 - kontrolni uzorak; uzorci su numerisani kao u tabelama 4.1.-4.4., n=3. SD - standardna devijacija, SE - standardna greška

4.5.2. Promena sadržaja Mg tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Na osnovu slike 4.15. uočava se da osmotski tretman korena i lista celera u rastvoru R₁ (dijagrami a i c) utiče na smanjenje sadržaja Mg u odnosu na sadržaj u svežim uzorcima (22,42 mg/100g za koren, i 11,82 mg/100g za list). Nakon statističke obrade eksperimentalnih podataka uočeno je da, u odnosu na kontrolni uzorak korena i lista celera, već nakon prvih sat vremena

procesa dolazi do značajnog smanjenja ($p < 0,05$) sadržaja Mg u uzorcima osmotski dehidriranim u rastvoru R₁. Na početku procesa, pogonska sila za difuziju vode i u njoj rastvorenih supstanci iz tretiranog biljnog tkiva u okolni rastvor je najveća, pa je ovakav rezultat očekivan. Daljim produženjem vremena trajanja procesa i povećanjem temperature, nastavlja se trend opadanja vrednosti Mg u dehidriranim uzorcima.

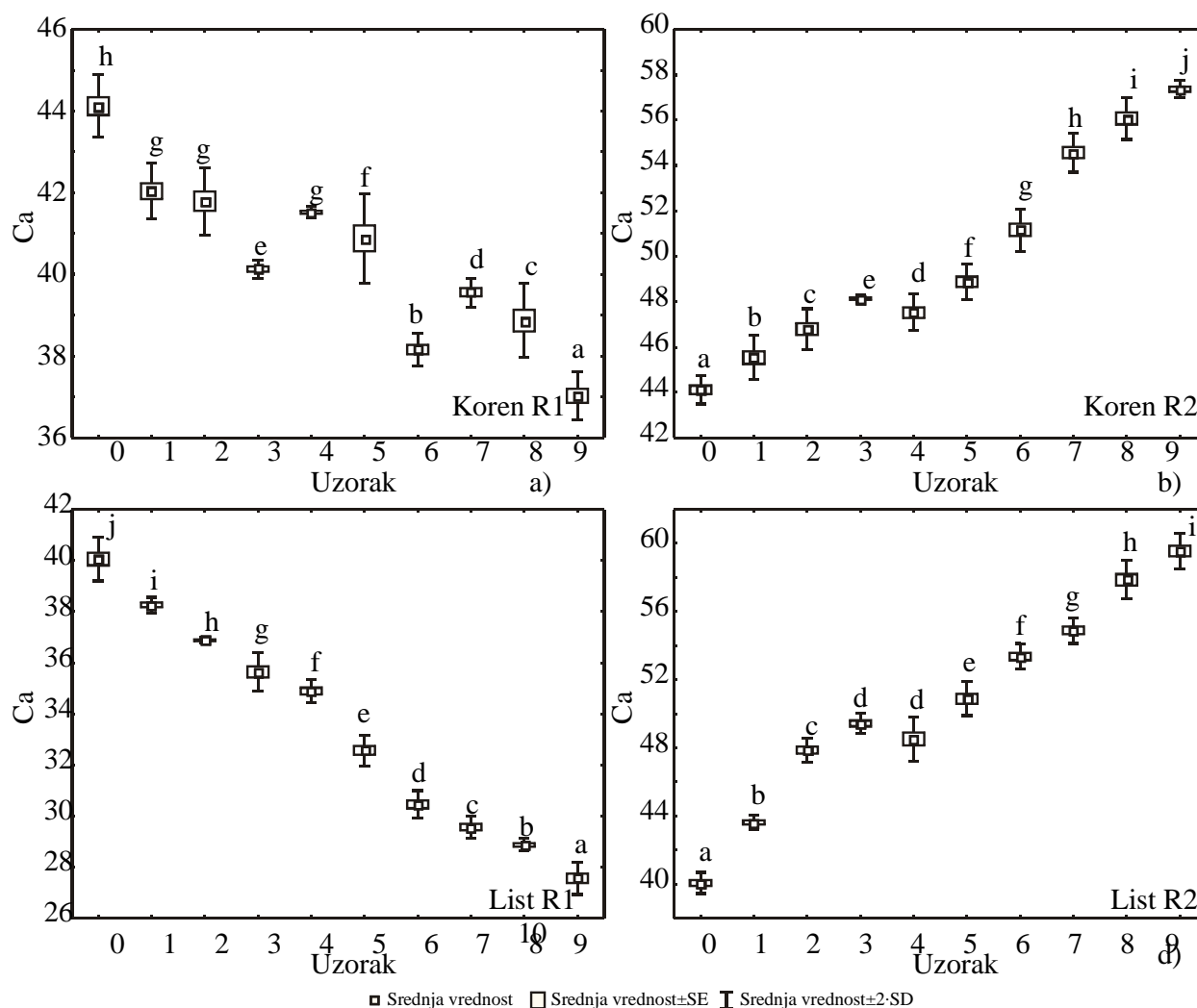


Slika 4.15. Promena sadržaja Mg u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂. ^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih na istoj slici su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 - kontrolni uzorak; ; uzorci su numerisani kao u tabelama 4.1.-4.4., $n=3$. SD - standardna devijacija, SE - standardna greška

Nasuprot tome, kod uzoraka korena i lista celera potopljenih u rastvor R_2 , primetno je povećanje sadržaja Mg, srazmerno povećanju vrednosti procesnih parametara (dijagrami b i d). Time je potvrđen uticaj melase šećerne repe na obogaćivanje tretiranih uzoraka korena i lista celera magnezijumom.

4.5.3. Promena sadržaja Ca tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Kao i u slučajevima K i Mg, osmotska dehidracija u rastvoru R_1 dovela je do gubitka Ca u svim tretiranim uzorcima korena i lista celera. U odnosu na sadržaj Ca u svežem korenu i listu celera, opaža se konstantan opadajući trend sa porastom vremena i temperature procesa, pa se najniže vrednosti sadržaja Ca dobijaju u uzorcima tretiranim 5 sati, na temperaturi od 50°C (slika 4.16., dijagrami a i c).

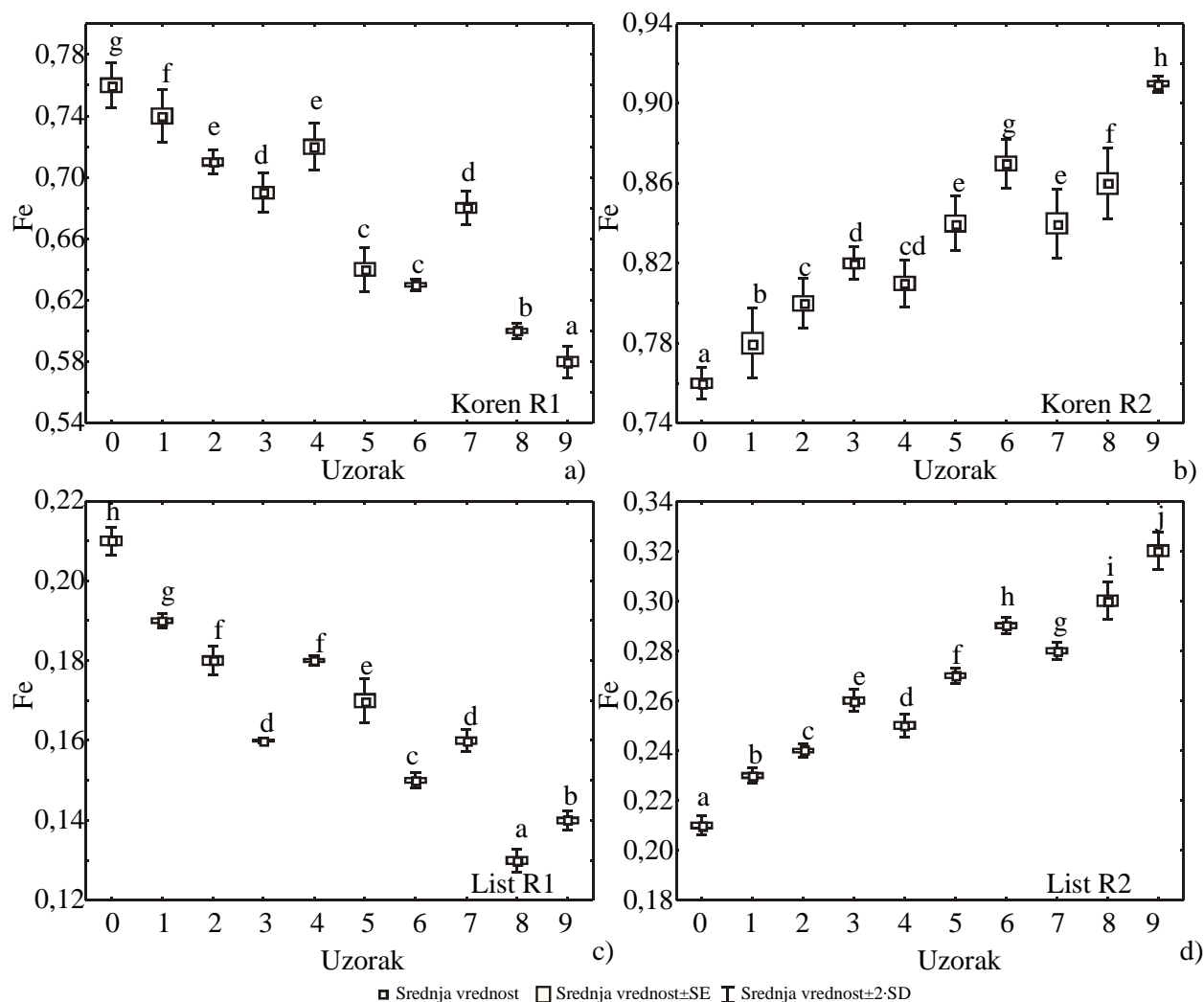


Slika 4.16. Promena sadržaja Ca u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂. ^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih na istoj slici su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 - kontrolni uzorak; ; uzorci su numerisani kao u tabelama 4.1.-4.4., $n=3$. SD - standardna devijacija, SE - standardna greška

Tokom osmotskog tretmana uzoraka korena i lista celera pod istim uslovima procesa, ali u rastvoru R₂ uočava se pravilno povećanje sadržaja Ca (slika 4.16., dijagrami b i d). Dinamika priraštaja Ca u uzorcima tretiranim u melasi je slična kao i za prethodne ispitivane minerale .

4.5.4. Promena sadržaja Fe tokom osmotskog tretmana korena i lista celera

Rezultati prikazani na dijagramima a) i c) (slika 4.17.) pokazuju trend konstantnog smanjenja sadržaja Fe, u svim uzorcima korena i lista celera, tokom osmotskog tretmana u rastvoru R₁. Intenzitet izdvajanja Fe iz uzoraka celera u okolni rastvor raste sa povećanjem temperature i produženjem vremena trajanja procesa.



Slika 4.17. Promena sadržaja Fe u zavisnosti od vremena i temperature procesa tokom osmotskog tretmana: a) korena celera u rastvoru R₁, b) korena celera u rastvoru R₂, c) lista celera u rastvoru R₁, d) lista celera u rastvoru R₂. ^{a-h}Različita slova u eksponentu kod podataka prikazanih na istoj slici su oznaka da se srednje vrednosti statistički značajno razlikuju na nivou $p < 0,05$; 0 - kontrolni uzorak; uzorci su numerisani kao u tabelama 4.1.-4.4., $n=3$. SD - standardna devijacija, SE - standardna greška

U pogledu promene sadržaja Fe, primena R_2 kao osmotskog rastvora tokom procesa izaziva suprotan efekat u poređenju sa efektom koji stvara primena R_1 . Na dijagramima b) i d) primetno je povećanje priraštaja Fe u tretiranim uzorcima, srazmerno povećanju variranih parametara tokom procesa.

Smanjenje sadržaja mineralnih materija tokom osmotskog tretmana u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida nastaje kao posledica difuzije dela ćelijskih sokova iz tkiva korena i lista celera u okolni rastvor. To je, tzv. treći put prenosa mase tokom osmotske dehidracije koji je, pored dva osnovna načina prenosa mase, kvantitativno najmanji ali utiče na promenu nutritivnog kvaliteta dehidriranog materijala. Usled delimičnog gubitka minerala prisutnih u ćelijskim sokovima uzoraka dolazi do određenog smanjenja nutritivne vrednosti tretiranog materijala (Koprivica i sar., 2009).

Nasuprot tome, primena melase šećerne repe kao osmotskog agensa tokom tretmana dovodi do povećanja sadržaja ispitivanih mineralnih materija (K, Mg, Ca i Fe) u tretiranim uzorcima i na taj način povećava njihovu nutritivnu vrednost. Melasa šećerne repe je bogat izvor mineralnih materija, koje se u njoj nalaze u rastvorenom stanju, pa je transfer mineralnih materija iz melase u potopljene uzorke korena i lista celera izvestan. Kao rezultat nastaju osmotski dehidrirani proizvodi sa povećanim mineralnim sadržajem u poređenju sa polaznom sirovinom (Nićetin i sar., 2015).

Veći priraštaj minerala u osmotski dehidriranim uzorcima lista celera, u poređenju sa uzorcima korena celera dehidriranim pod istim uslovima, je posledica različite strukture tkiva korena i lista. Tkivo korena ima kompaktniju strukturu dok je tkivo lista mekše, pa je prodiranje rastvorenih mineralnih materija lakše. Pored toga veličina međućelijskog prostora u tkivu lista je znatno veća nego u tkivu korena što omogućava da veća količina mineralnih materija prođe unutar tkiva. Gubitak mineralnih materija kako za uzorke korena, tako i za list celera je veći nakon dužeg izlaganja tretmanu i na većim temperaturama, jer je tada veće i izdvajanje vode iz tretiranih uzoraka, a samim tim i u vodi rastvorljivih minerala (K, Mg, Ca i Fe) (Koprivica, 2013).

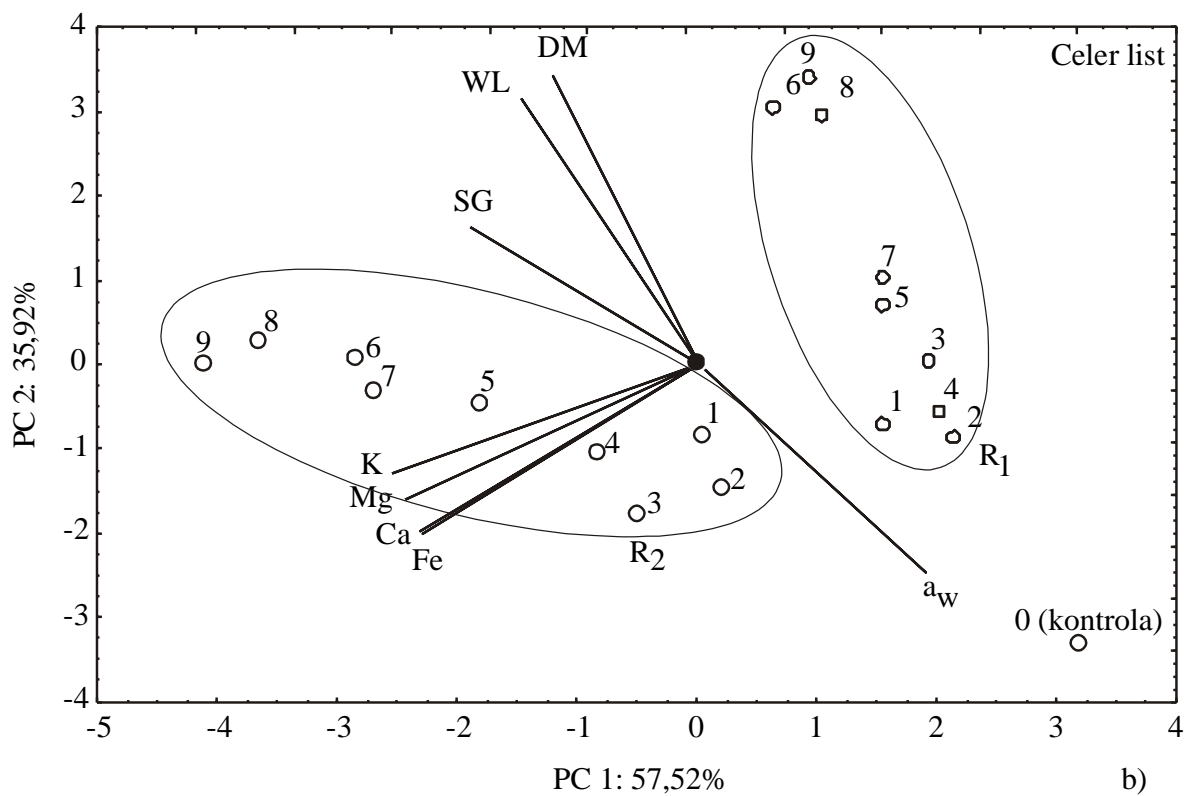
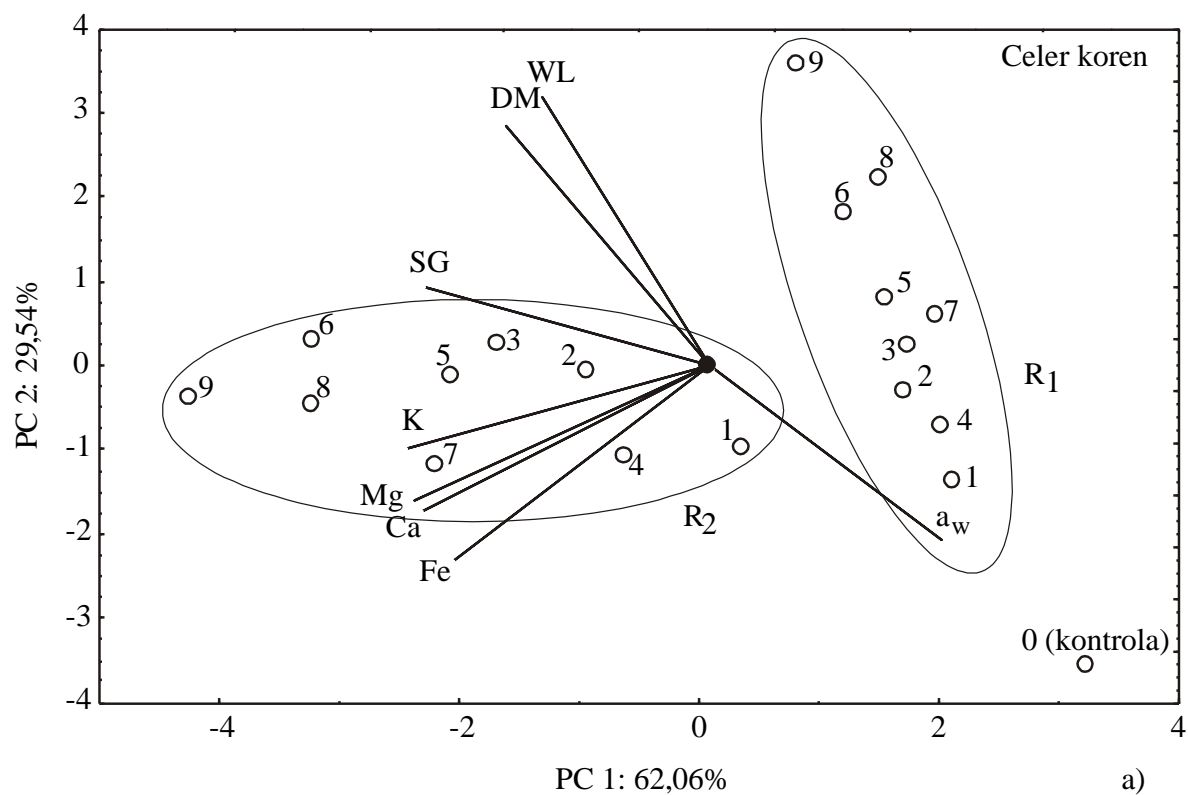
4.6. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI (PCA)

Analiza glavnih komponentata (engl. Principal Component Analysis - PCA) je primenjena radi karakterizacije uzoraka tokom osmotskog tretmana. Za PCA modelovanje su korišćeni eksperimentalni podaci (kinetički parametri osmotskog tretmana, aktivnost vode, antioksidativna aktivnost, boja i mineralni sastav uzoraka celera). Primenom PCA za različite položaje tačaka u faktorskoj ravni, koji predstavljaju različite uzorke, na osnovu pokazatelja kvaliteta proizvoda u toku procesa mogu se odrediti uslovi za poboljšanje kvaliteta proizvoda.

Svi uzorci su pripremljeni pod striktno zadatim uslovima koji su definisani u eksperimentalnom planu (tabele 4.1.-4.4.) i koji su grafički prikazani na PCA graficima (slike 4.18. i 4.19.). Celokupna matrica merenih podataka koja se sastoji od 19 različitih uzoraka dobijenih različitim tehnološkim tretmanima je podvrgnuta PCA analizi.

Grafički prikaz trendova i efikasnost odvajanja grupa parametara na osnovu korišćenih deskriptora prikazana je na slikama 4.18. i 4.19., gde su na grafiku prikazani uzorci korišćenjem prve dve glavne komponente, koje su dobijene iz PCA analize.

Na osnovu slike 4.18., a) se može videti da je izvršeno uspešno razdvajanje grupa podataka za kinetičke parametre i promenu mineralnog sastava uzoraka korena celera, za osmotski tretman u rastvorima R_1 i R_2 , za 19 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente (PC1 i PC2) zajednički prikazuju 91,60% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive SG (koja prikazuje 15,3% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije), K (17,2%), Mg (16,5%), Fe (12,3%) i Ca (15,5%) su negativno uticale na izračunavanje prve glavne komponente, dok je promenljiva a_w (koja prikazuje 10,3% ukupne varijanse) najznačajnije pozitivno uticala na izračunavanje prve glavne komponente. Promenljive WL (28,8% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije) i DM (23,1%) su bile najznačajnije pozitivno korelisane promenljive za predstavljanje druge glavne komponente, dok su promenljive a_w (12,1%) i Fe (15,1%) negativno uticale na izračunavanje druge faktorske koordinate. Uočava se da su kinetički parametri više uticali na drugu faktorsku koordinatu, a mineralni sastav je više uticao na prvu faktorsku koordinatu.



Slika 4.18. Biplot grafik koji prikazuje promene vrednosti kinetičkih parametara i mineralnog sastava uzoraka korena (a) i lista (b) celera tokom osmotskog tretmana u rastvorima R₁ i R₂

Takođe, uticaj procesnih parametara na različite uzorke može da se oceni sa slike 4.18., a), na kojoj su uzorci koji su tretirani u rastvoru R_1 na desnoj strani grafika (manje izraženi WL, SG i DM, manje vrednosti mineralnog sadržaja), a uzorci koji su locirani u levoj zoni grafika, koji su tretirani u rastvoru R_2 , imaju povećane vrednosti WL, SG i DM, kao i povećane vrednosti mineralnog sadržaja. PCA grafik je pokazao da se uzorci dobro grupišu na osnovu razlika u posmatranim parametrima i na osnovu korišćenog osmotskog rastvora. Na osnovu slike može da se zaključi da je rastvor R_2 mnogo pogodniji osmotski medijum, zbog većih vrednosti WL, i DM, kao i povećane nutritivne vrednosti.

Na slici 4.18., b) se uočava da je izvršeno uspešno razdvajanje grupa podataka za kinetičke parametre i promenu mineralnog sastava uzoraka lista celera, za osmotski tretman u rastvorima R_1 i R_2 , za 19 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 93,4% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive SG (koja prikazuje 10,7% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije), K (19,1%), Mg (17,7%), Fe (15,8%) i Ca (15,6%) su bile najznačajnije negativno korelisane promenljive za predstavljanje prve glavne komponente, dok je promenljiva a_w (koja prikazuje 10,6% ukupne varijanse) najznačajnije pozitivno uticala na izračunavanje prve glavne komponente. Promenljive WL (23,0% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije) i DM (27,6%) su najsnažnije pozitivno uticale na predstavljanje druge glavne komponente, dok je promenljiva a_w (14,4%) negativno uticala na izračunavanje druge faktorske koordinate. Očigledno je da su kinetički parametri više uticali na drugu faktorsku koordinatu, a mineralni sastav je više uticao na prvu faktorsku koordinatu.

Uticaj procesnih parametara na različite uzorke moguće je proceniti na osnovu slike 4.18., b), na kojoj su uzorci koji su tretirani u rastvoru R_1 na desnoj strani grafika (manje izraženi WL, SG i DM, manje vrednosti mineralnog sadržaja), a uzorci koji su locirani u levoj zoni grafika, koji su tretirani u rastvoru R_2 , imaju povećane vrednosti WL, SG i DM, kao i povećane vrednosti mineralnog sadržaja. Zapaža se da rastvor R_2 ima prednost kao osmotski medijum, kako zbog pogodnijih kinetičkih parametara, tako i sa aspekta nutritivnog kvaliteta tretiranog proizvoda.

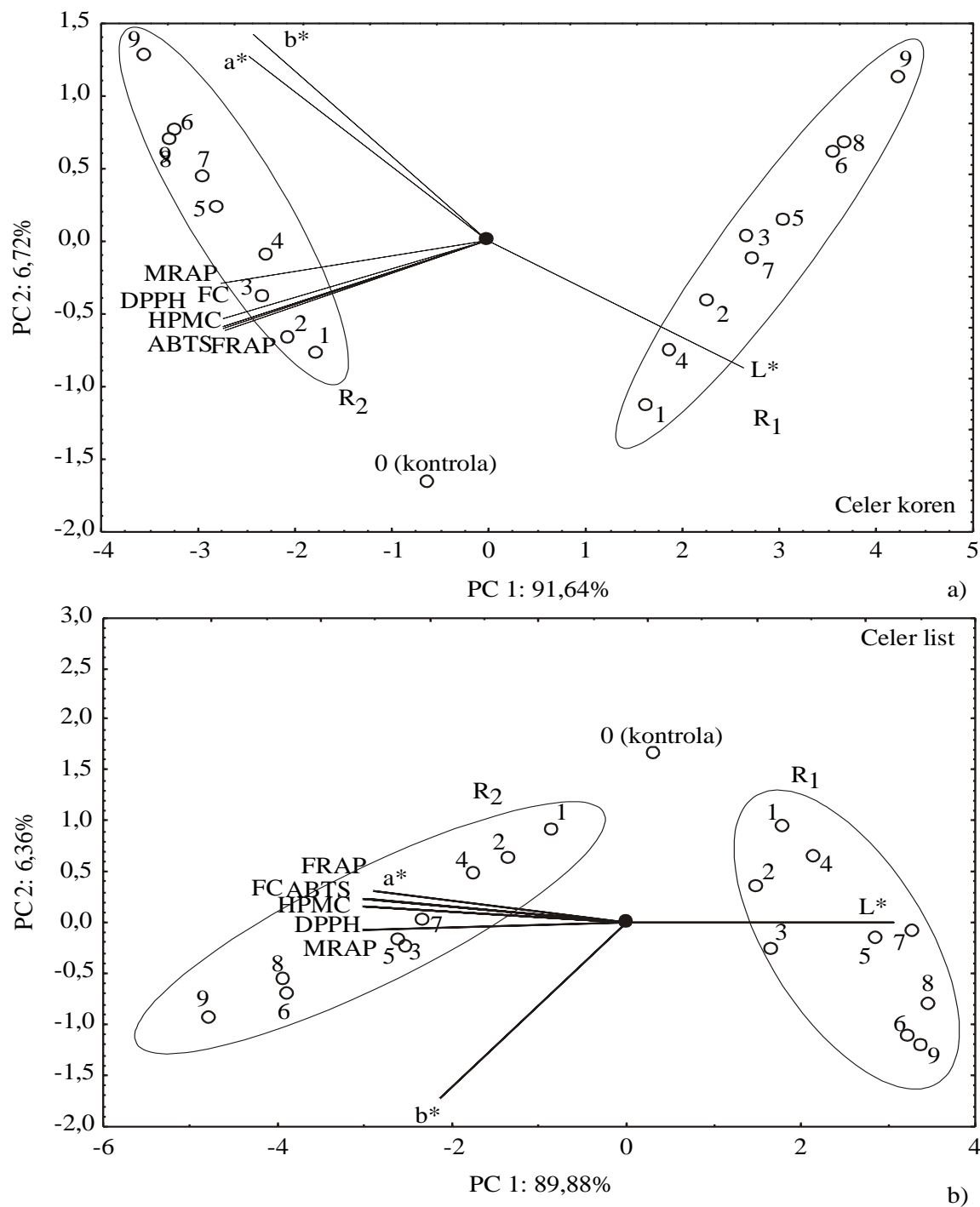
Na slici 4.19., a) primećuje se da je izvršeno uspešno razdvajanje grupa podataka za antioksidativnu aktivnost i boju uzoraka korena celera, za osmotski tretman u rastvorima R_1 i R_2 , za 19 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 98,4% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive FRAP (koja prikazuje 11,7% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije), ABTS (11,7%), DPPH (11,7%), HPMC (11,7%), MRAP (12,0%) i FC (11,7%) su bile najznačajnije negativno korelisane promenljive za predstavljanje prve glavne komponente, dok je promenljiva L^* (koja prikazuje 10,8% ukupne varijanse) najznačajnije pozitivno uticala na izračunavanje prve glavne komponente. Promenljive a^* (32,5% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije) i b^* (26,0%) su najsnažnije pozitivno uticale na predstavljanje druge glavne komponente, dok je promenljive L^* (14,4%) negativno uticala na izračunavanje druge faktorske koordinate. Primetno je se da su pokazatelji antioksidativne aktivnosti više uticali na prvu faktorsku koordinatu, a kolorne koordinate je više uticao na prvu faktorsku koordinatu.

Na osnovu slike 4.19., a) može da se proceni i uticaj procesnih parametara na različite uzorke. Uzorci tretirani u rastvoru R_1 nalaze se na desnoj strani grafika (manje izraženi pokazatelji antioksidativne aktivnosti, uzorci su svetliji, usled povećanja vrednosti kolorne koordinate L^*), a uzorci smešteni u levoj zoni grafika, koji su tretirani u rastvoru R_2 , imaju povećane vrednosti pokazatelja antioksidativne aktivnosti, kao i povećane vrednosti kolornih koordinata a^* i b^* (uzorak je tamniji). Na osnovu slike može da se zaključi da je rastvor R_2 mnogo pogodniji osmotski medijum, zbog većih vrednosti pokazatelja antioksidativne aktivnosti.

Slika 4.19., b) pokazuje da je izvršeno uspešno razdvajanje grupa podataka za antioksidativnu aktivnost i boju uzoraka lista celera, za osmotski tretman u rastvorima R_1 i R_2 , za 19 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 96,2% ukupne varijanse i da se to može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive FRAP (koja prikazuje 11,0% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije), ABTS (11,5%), DPPH (11,7%), HPMC (12,0%), MRAP (12,0%) i FC (11,8%) su bile najznačajnije negativno korelisane promenljive za predstavljanje prve glavne komponente, dok je promenljiva L^* (koja prikazuje 12,1% ukupne varijanse) najznačajnije pozitivno uticala na izračunavanje prve glavne komponente. Promenljiva b^* (90,5% ukupne varijanse, računane na osnovu korelacije) je najsnažnije negativno uticala na

predstavljanje druge glavne komponente. Pokazatelji antioksidativne aktivnosti su više uticali na prvu faktorsku koordinatu, a kolorne koordinate na prvu faktorsku koordinatu.

Uticaj procesnih parametara na različite uzorke može da se oceni sa slike 4.19., b), na kojoj su uzorci tretirani u rastvoru R_1 na desnoj strani grafika (manje izraženi pokazatelji antioksidativne aktivnosti, uzorci su svetliji, usled povećanja vrednosti kolorne koordinate L^*), a uzorci koji se nalaze u levoj zoni grafika, a tretirani su u rastvoru R_2 , imaju povećane vrednosti pokazatelja antioksidativne aktivnosti, kao i povećane vrednosti kolornih koordinata a^* i b^* (tamniji uzorak). U pogledu poboljšanja antioksidativnih svojstava tretiranih uzoraka, melasa se pokazala kao povoljniji osmotski rastvor.



Slika 4.19. Biplot grafik koji prikazuje promene vrednosti antioksidativne aktivnosti i boje uzoraka korena (a) i lista (b) celera tokom procesa OT u rastvorima R₁ i R₂

4.7. STANDARDNA OCENA (SS)

Održiva industrijska proizvodnja zahteva optimizaciju, ne samo proizvoda, već i samog proizvodnog procesa. Primenom poboljšanih matematičkih modela i metoda optimizacije moguće je tehnološko unapređenje i planiranje proizvodnog procesa sa ciljem smanjenja potrošnje energije i sirovina, a povećanja kvaliteta dobijenog proizvoda. Odabir najboljih vrednosti odziva za konkretan materijal koji se osmotski dehidrira, zavisi od namene određenog proizvoda. Takođe, ako je poznata primena krajnjeg proizvoda i optimalne vrednosti, moguće je pronaći i optimalne procesne parametre (Filipčev, 2009).

U cilju određivanja procesnih parametara osmotskog tretmana korena i lista celera, koji kao rezultat daju optimalne vrednosti odziva procesa, urađena je Standardna ocena, koja odzive različitih veličina kvantifikuje u bezdimenzione veličine. U formiranju vrednosti SS osmotskog tretmana visoke vrednosti odziva WL, DM, FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP, FC najviše pozitivno utiču na vrednost SS, a visoke vrednosti SG i a_w negativno utiču na njenu vrednost. Maksimum funkcije SS predstavlja optimalne procesne parametre (vremena trajanja procesa i temperature procesa), a takođe i optimalne vrednosti zavisnih promenljivih (WL, SG, DM, a_w , mikrobioloških pokazatelja ukupni broj kvasaca i plesni i Enth., pokazatelja antioksidativne aktivnosti FRAP, ABTS, DPPH, HPMC, MRAP i FC, kolornih koordinata L^* , a^* i b^* , kao i sadržaja K, Mg, Ca i Fe). Vrednosti funkcije pripadnosti bliže 1 pokazuju da su procesni parametri bliže optimalnim.

U tabeli 4.45. prikazane su vrednosti SS, za uzorke dobijene korišćenjem procesnih parametara vremena trajanja procesa i procesne temperature.

Tabela 4.45. SS vrednosti za uzorke korena i lista celera, tretirane u osmotskim rastvorima R₁ i R₂, u zavisnosti od vremena i temperature procesa

	t	T	Koren u R ₁	Koren u R ₂	List u R ₁	List u R ₂
1	1	20	0,609	0,604	0,642	0,632
2	1	35	0,630	0,645	0,621	0,599
3	1	50	0,619	0,655	0,598	0,617
4	3	20	0,582	0,597	0,621	0,609
5	3	35	0,567	0,637	0,661	0,657
6	3	50	0,562	0,662	0,664	0,757
7	5	20	0,522	0,662	0,676	0,685
8	5	35	0,558	0,743	0,748	0,789
9	5	50	0,539	0,754	0,709	0,800
	Max.		0,630	0,754	0,748	0,800

Na osnovu tabele 4.45. uočava se da su optimalni parametri procesa, u pogledu najpovoljnijih uticaja na dehidrirani proizvod vreme trajanja procesa od 5 časova i temperatura od 50°C, uz primenu melase kao osmotskog rastvora, kako za koren celera, tako i za list celera.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata osmotskog tretmana korena i lista celera u vodenom rastvoru saharoze i natrijum hlorida, i u melasi šećerne repe mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Povećanje temperature tokom osmotskog tretmana i produženje vremena trajanja procesa pospešuje prenos mase između tretiranih uzoraka korena i lista celera i osmotskih rastvora, što je rezultiralo konstantnim rastom vrednosti WL i SG. Najveće vrednosti su postignute nakon 5h procesa, na najvišoj temperaturi procesa od 50°C.
- Veći gubitak vode, a manji priraštaj suve materije uočen je kod uzoraka korena i lista celera, osmotski tretiranih u melasi šećerne repe što, ne samo da potvrđuje opravdanost njene primene već ukazuje i na bolju efikasnost melase kao osmotskog rastvora u odnosu na vodeni rastvor saharoze i natrijum hlorida.
- Kao posledica različitosti strukture tkiva korena i lista celera, priraštaj suve materije kod uzoraka lista je veći (oko dva puta) u odnosu na uzorke korena celera, osmotski tretirane u rastvorima saharoze i natrijum hlorida i melase šećerne repe. Različitost strukture tkiva nije bitno uticala na gubitak vode tokom osmotske dehidratacije, na šta ukazuje mala razlika u vrednostima WL za osmotski tretirane uzorke korena i lista celera.
- Nakon osmotskog tretmana sadržaj suve materije u dehidriranim uzorcima je značajno povećan, od 2,3 do 7,2 puta za koren celera, i od 1,9 do 5,1 za list celera, u zavisnosti od uslova procesa. Maksimalne vrednosti sadržaja suve materije u uzorcima postignute su na najvišim vrednostima procesnih parametara, u melasi šećerne repe.
- Postizanje sniženih vrednosti a_w u svim ispitivanim uzorcima tokom procesa, jasan su pokazatelj pozitivnog uticaja osmotskog tretmana na poboljšanje mikrobiološke stabilnosti korena i lista celera. Postupkom osmotske dehidratacije u melasi šećerne repe i rastvoru saharoze i natrijum hlorida, na višim temperaturama, moguće je inhibirati rast i razvoj većine bakterije i kvasaca.
- Mikrobiološka analiza potvrdila je bezbednost osmotski tretiranih uzoraka korena i lista celera, kao i higijensku ispravnost procesa osmotskog tretmana.
- Osmotskim tretiranjem korena i lista celera u rastvoru saharoze i natrijum hlorida dolazi da opadanja njihove ukupne antioksidativne aktivnosti, dok se primenom melase šećerne repe postiže povećanje antioksidativnog potencijala u tretiranim uzorcima. Može se

zaključiti da melasa kao osmotski rastvor doprinosi povećanju antioksidativnosti i poboljšanju funkcionalnog kvaliteta dehidriranog produkta, pre svega zbog difuzije bioaktivnih komponenti iz melase u tretirani materijal tokom procesa.

- Smanjenje ukupne antioksidativnosti više je izraženo u uzorcima korena celera, u odnosu na list, tretiran pod istim uslovima. Nakon 5 časova imerzije u rastvoru saharoze i natrijum hlorida na temperaturi od 50°C, tretiran koren celera sadrži oko 59%, 57%, 57%, 48% i 60% ukupne antioksidativne aktivnosti, za FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metode respektivno, dok tretiran list celera, posle osmotskog tretmana sa najvišim vrednostima procesnih parametara, sadrži oko 95,36%, 94,79%, 94,20%, 86,96% i 89,47% ukupne antioksidativne aktivnosti, za FRAP, ABTS, DPPH, HPMC i MRAP metode respektivno, što ukazuje na zadovoljavajuće zadržavanje početne antioksidativne aktivnosti.
- Povećanje početnog antioksidativnog potencijala u uzorcima korena i lista celera tretiranim u melasi šećerne repe, postepeno raste sa povišenjem procesne temperature i dužine trajanja procesa (u proseku oko 5%, na najvišim parametrima procesa), a neznatno više je izraženo u uzorcima lista celera, u odnosu na koren.
- Melasa šećerne repe, kao osmotski rastvor tokom procesa dehidracije doprinela je povećanju sadržaja ukupnih fenola u svim ispitivanim uzorcima, dok je rastvor saharoze i natrijum hlorida uticao na smanjenje sadržaja ukupnih fenola u tretiranim tkivima korena i lista celera. Međusobnim poređenjem rezultata koji pokazuju vrednosti antioksidativne aktivnosti i vrednosti sadržaja ukupnih fenola, može se zaključiti da je antioksidativna aktivnost tretiranih uzoraka u korelaciji sa količinom fenola prisutnim u njima.
- Osmotski tretman u rastvoru saharoze i natrijum hlorida uticao je na neznatno povećanje parametra svetloće L* u uzorcima korena i lista celera. S druge strane, tokom osmotskog tretmana u melasi šećerne repe dolazi do značajnog smanjenja vrednosti parametra svetloće L* u svim tretiranim uzorcima, tj. do tamnjenja tkiva kao posledice transfera bojenih materija (melanoidina) iz melase šećerne repe u tretirane uzorke. Bojene materije iz melase, zbog svojih antioksidativnih svojstava, takođe doprinose poboljšanju ukupne antioksidativnosti tretiranih uzoraka.
- Vrednost parametra a*, koja ima negativan predznak i ukazuje na polazni udeo zelene boje u tkivu korena i lista celera, smanjuje se tokom osmotskog tretmana u rastvoru

saharoze i natrijum hlorida, tj. povećava se udeo zelene boje u uzorcima usled koncentrisanja prisutnih zelenih pigmenata unutar tretiranih tkiva. Nasuprot tome, osmotski tretman korena i lista celera u melasi šećerne repe uzrokuje povećanje vrednosti parametra a^* , tj. smanjuje se udeo zelene boje, u korist crvene.

- Kod uzoraka korena i lista celera, tretiranim u oba osmotska rastvora, dolazi do značajnog povećanja udela žute boje (b^*), u odnosu na prirodnu boju tkiva. Veći udeo žute boje u uzorcima dehidriranim u melasi šećerne repe, u odnosu na uzorke tretirane u rastvoru saharoze i natrijum hlorida, je rezultat prodiranja bojenih materija iz rastvora melase kroz polupropustljivu membranu ispitivanih biljnih tkiva.
- Sve promene (WL, SG, DM, a_w , antioksidativna aktivnost, sadržaj ukupnih fenola i boja) koje su uočene tokom osmotske dehidratacije korena i lista celera, u funkciji posmatranih faktora (temperatura i vreme), se mogu opisati regresionim polinomom drugog reda što potvrđuju visoke vrednosti koeficijenata determinacije.
- Tokom osmotskog tretmana korena i lista celera u rastvoru saharoze i natrijum hlorida uočen je značajan gubitak mineralnih materija (K, Mg, Ca i Fe) u odnosu na njihov sadržaj u kontrolnim uzorcima, što je posledica difuzije dela ćelijskih sokova iz biljnog tkiva u okolni rastvor.
- Bogat mineralni sastav melase šećerne repe doprineo je značajnom povećanju sadržaja mineralnih materija (K, Mg, Ca i Fe) osmotski tretiranog korena i lista celera, što sa aspekta nutritivnog kvaliteta daje prednost melasi kao osmotskom rastvoru.
- PCA analizom potvrđeno je da osmotskom dehidratacijom u rastvoru saharoze i natrijum hlorida dolazi do povećanja parametara WL, DM, SG, L^* i b^* , a smanjuje se a_w vrednost, antioksidativnost, parametar a^* i sadržaj mineralnih materija u tretiranim uzorcima korena i lista celera, dok se tretmanom u melasi šećerne repe, smanjuje a_w vrednost i parametar svetloće L^* , a povećavaju se svi drugi posmatrani odzivi u osmotski tretiranim uzorcima korena i lista celera.
- Optimalni procesni parametri u pogledu efikasnosti procesa, kao i mikrobiološkog, nutritivnog, senzornog i funkcionalnog kvaliteta dehidriranog korena i lista celera su vreme trajanja procesa od 5 časova, na temperaturi od 50°C, u melasi šećerne repe kao osmotskom rastvoru.

- Osmotskom dehidracijom korena i lista celera u melasi šećerne repe se na ekonomičan, energetski efikasan i ekološki prihvatljiv način dobijaju dehidrirani poluproizvodi produžene održivosti, kao i poboljšanih nutritivnih i antioksidativnih karakteristika. Kao takvi, poseduju veliki potencijal u kreiranju novih funkcionalnih proizvoda. Dodatak ovih poluproizvoda u hranu, pored nutritivnih benefita uticao bi i na poboljšanje oksidativne stabilnosti, čime bi se mogla redukovati ili izostaviti upotreba veštačkih konzervanasa, aditiva, i antioksidanasa u hrani. Pored toga, melasa šećerne repe koja predstavlja bogat izvor minerala i prirodnih antioksidanasa, ali je zanemarena u ishrani ljudi zbog svojih specifičnih senzornih svojstava, dobila bi novu upotrebnu vrednost u prehrambenoj industriji.

6. LITERATURA

Abdi, H., Williams L.J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 2, 433–459.

Aćimović, M., Cvetković, M., Stanković, J., Melenčić, Đ., Kostadinović, Lj. (2015). Analiza komponenti etarskih ulja plodova selena i celera dobijenih headspace ekstrakcijom, *Letopis naučnih radova*, 39, 44-51.

Agnelli, M.E., Marani, C.M., Macheloni, R.H. (2005). Modelling of heat and mass transfer during (osmo) dehydrofreezing of fruits. *Journal of Food Engineering*, 69, 415-424.

Akbarian, M., Ghasemkhani, N., Moayedi, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences*, 4, 42-57.

Almeida, J., Mussi, L., Oliveira, D., Pereira, N. (2015). Effect of temperature and sucrose concentration on the retention of polyphenol compounds and antioxidant activity of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 1061-1069.

Alsuhaibani, A.M.A. (2013). Antioxidant activity of celery in vitro and vivo. *Journal of American Science*, 9, 459-465.

Arsenović, M., Pezo, L., Stanković, S., Radojević, Z. (2015). Factor space differentiation of brick clays according to mineral content: Prediction of final brick product quality. *Applied Clay Science*, 115, 108–114.

Asikin, Y., Takahashi, M., Mishima, T., Mizu, M., Takara, K., Wada, K. (2013). Antioxidant activity of sugarcane molasses against 2,21-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride-induced peroxy radicals. *Food Chemistry*, 141, 466–472.

Atares, L., Sousa Gallagher M.J., Oliveira, F.A.R. (2011). Process conditions effect on the quality of banana osmotically dehydrated. *Journal of Food Engineering*, 103, 401-408.

Azarpazhooh, E., Ramaswamy, H.S. (2010). Microwave osmotic dehydration of apples under continuous flow medium spray conditions: comparison with other methods. *Drying Technology*, 28, 49 - 56.

Babić, Lj. (1989). Uticaj nekih hibrida kukuruza na brzinu sušenja sloja zrna debljine 100-300mm. *Doktorska disertacija, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.*
Babić, Lj., Babić M. (2011). *Sušenje i skladištenje (drugo izdanje). Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, str. 306.*

- Balat, M., Balat, H., Öz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 551-573.
- Barak, A.J., Beckenhauer, H.C., Maillard, M.E., Kharbanda, K.K., Tuma, D.J. (2003). Betain lowers elevated S-adenosylhomocysteine levels in hepatocytes from ethanol-fed rats. *Journal of Nutrition*, 133, 2845-2848.
- Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
- Beristain, C. I., Azuara, E., Cortes, R., Garcia, H. S. (1990). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. *International Journal of Food Science and Technology*, 25, 576-582.
- Biswal, R.N. i Le Maguer, M. (1989). Mass transfer in plant material in contact with aqueous solutions of ethanol and sodium chloride: equilibrium data. *Journal of Food Process Engineering* 11, 159-176.
- Biswal, R.N., Bozorgmehr, K., Tompkins, F.D., Liu, X. (1991). Osmotic concentration of green beans prior to freezing. *Journal of Food Science*, 56, 1008-1012.
- Blois, M. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181, 1199-1200.
- Bolin, H.R., Huxsoll, C.C., Jackson, R., Ng, K.C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48, 202-205.
- Borrelli, R.C., Visconti, A., Mennella, C., Anese, M., Fogliano, V. (2002). Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6527-33.
- Brllek, T., Pezo, L., Voća, N., Krička, T., Vukmirović, Đ., Čolović, R., Bodroža-Solarov, M. (2013). Chemometric approach for assessing the quality of olive cake pellets. *Fuel Processing Technology*, 116, 250-256.
- Cazier, J-B., Gekas, V. (2001). Water activity and its prediction: a review. *International Journal of Food Properties*, 4, 35-43.
- Chen, M, Zhao, Z., Yu, S. (2016). Cytotoxicity and apoptotic effects of polyphenols from sugar beet molasses on colon carcinoma cells in vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 17,993-1003.

Chen, M., Zhao, Y., Yu, S. (2015a). Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from sugar beet molasses. *Food Chemistry*, 172, 543–550.

Chen, M., Meng, H., Zhao, Y., Chen, F., Yu Sh. (2015b). Antioxidant and in vitro anticancer activities of phenolics isolated from sugar beet molasses. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15, 313- 321.

Chenlo, F., Moreira, R., Fernandez-Herrer, C., Vazquez, G. (2007). Osmotic dehydration of chestnut with sucrose: Mass transfer processes and global kinetics modeling. *Journal of Food Engineering* , 78, 765-774.

Chiralt, A., Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration: The role of the structure. *Food Science and Technology International*, 9, 179-186.

Chiralt, A., Talens, P. (2005). Physical and chemical changes induced by osmotic dehydration in plant tissues. *Journal of Food Engineering*, 67, 167-177.

Chirife, J., Fontana, Jr. A.J. (2007). Introduction: Historical Highlights of Water Activity in Water Activity in Foods Fundamentals and Applications, Barbosa-Cánovas, G.V., Fontana, Jr., A.J., Schmidt, S.J., Labuza, T.P. (Edt.), Blackwell Publishing.

Chong, C.H., Law, C.L., Figiel, A., Wojdyło, A., Oziembloeski, M. (2013). Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. *Food Chemistry*, 141, 3889-3869.

Collignan, A., Bohuon, P., Deumier, F., Poligne, I. (2001). Osmotic treatment of fish and meat products. *Journal of Food Engineering*, 49, 153-162.

Contreras, J.E., Smyrl, T.G. (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14, 310-314.

Conway, J., Castaigne, F., Picard, G., Vovan, X. (1983). Mass -Transfer considerations in the osmotic dehydration of apples. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16, 25-29.

Cox, D.R., Reid, N. (2000). *The theory of design of experiments*. Chapman & Hall, Great Britain.

Ćurčić, B., Pezo, L., Filipović, V., Nićetin, M., Knežević, V. (2015). Osmotic treatment of fish in two different solutions-artificial neural network model. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 671-680.

Curtin, L.V. (1983). *Molasses – General Considerations*, West Des Moines, National Feed Ingredients Association, Iowa, 6-8.

Cvetković, B. (2014). *Primena tehnoloških postupaka spontane fermentacije i osmotske dehidracije za unapređenje nutritivnog profila, senzornih svojstava i održivosti kupusa*, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Devic, E., Guyot, S., Daudin, J.D., Bonazzi, C. (2010). Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58, 606–614.

Dixon, G.M., Jen, J.J. (1977). Changes of sugars and acids of osmo-vacuum-dried apple slices, *Journal of Food Science*, 42, 1126-1127.

Đurovka, M. (2008). *Gajenje povrća na otvorenom polju*. Novi Sad: Poljoprivredni fakultet, str. 251.

Figura, L.O., Teixeira, A.A. (2007). *Food Physics: Physical Properties- Measurement and Applications*, Springer.

Filipčev, B., Lević, Lj., Pribiš, V., Kabid, D. (2008). Melasa šećerne repe kao pogodan hipertoničan rastvor za osmotski predtretman jabuke. U *Zborniku radova XIII savetovanja o biotehnologiji*, Agronomski fakultet, Čačak, 13, 323-329.

Filipčev, B. (2009). *Nutritivni profil, antioksidacioni potencijal i senzorski kvalitet specijalnih vrsta hlebova sa dodatkom melase šećerne repe*, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Filipčev, B., Lević, Lj., Bodroža-Solarov, M., Mišljenović, N., Koprivica, G. (2010). Quality characteristics and antioxidant properties of breads supplemented with sugar beet molasses-based ingredients. *International Journal of Food Properties*, 13, 1035-1053.

Filipović V., Ćurčić B., Nićetin M., Plavšić D., Koprivica G., Mišljenović N. (2012). Mass transfer and microbiological profile of pork meat in two different osmotic solutions. *Hemijaska industrija*, 66, 743-748.

Filipović, V. (2013). Uticaj procesa osmotske dehidracije na prenos mase i kvalitet mesa svinja, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Filipović, V., Lević, Lj. (2014). Kinetika procesa osmotske dehidracije i uticaj na kvalitet svinjskog mesa, monografija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Filipović, V., Lević, Lj., Ćurčić, B., Nićetin, M., Pezo, L., Mišljenović, N. (2013). Optimization of mass transfer kinetics during osmotic dehydration of pork meat cubes in complex osmotic solution, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 20 (3), 305-314.

FINSLab-5.4-3M-004/13, Određivanje Pb, Cd, As, Zn, Cu, Fe, Sn i Cr u hrani metodom atomske apsorpcione spektrometrije AAS.

Fito, P. (1994). Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22, 313-328.

Fito, P., Pastor, R. (1994). Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, 21, 513-519.

Flink, J.M. (1979). Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behaviour and product quality. In: *Food Process Engineering*. Linko, P., Malki, Y., Olkku, J., Larinkari, J., Fito, P., Ortega, E., Barbosa, G. (Eds.). Applied Science Publishers, London, 412-418.

Ganesan, B., Rajesh, R., Anandan, R., Dhandapani, N. (2007). Biochemical studies on the protective effect of betaine on mitochondrial function in experimentally induced myocardial infarction in rats. *Journal of Health Studies*, 53, 671-681.

Gekas, V. (2001). Mass transfer modelling. *Journal of Food Engineering*, 49, 97-102.

Giovanelli, G., Brambilla, A., Rizzolo, A., Sinelli, N. (2012). Effects of blanching pre-treatment and sugar composition of the osmotic solution on physic-chemical, morphological and antioxidant characteristics of osmodehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) *Food Research International*, 45, 93-102.

Gorjanović, S., Komes, D., Pastor, F., Belščak-Cvitanović, A., Pezo, L., Hečimović, I., Sužnjević, D. (2012). Antioxidant capacity of teas and herbal infusions: polarographic assessment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 9573-9580.

Goupy, P., Dufour, C., Loonis, M., Dangles, O. (2003). Quantitative kinetic analysis of hydrogen transfer reactions from dietary polyphenols to the DPPH radical. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 615-622.

Grbeša, D. (2004). Metode procjene i tablice kemijskog sastava i hranljive vrijednosti krepkih krmiva. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatsko agronomsko društvo, 134-137.

Guerra, N.L., Carrozzi, M., Gabriela, M., Yommi, A. (2001). Quality characterization of celery (*Apium graveolens* L.) by plant zones and two harvest dates. *Journal of Food Science*, 65, 327-332.

Guimarães, C.M., Gião, M.S., Martinez, S.S., Pintado, A.I., Bento, L.S., Malcata, F.X. (2007). Antioxidant activity of sugar molasses, including protective effect against DNA oxidative damage. *Journal of Food Science*, 72, 39-43.

Gurfinkel, D.M., Rao, A.V. (2003). Soyasaponins: The relationship between chemical structure and colon anticarcinogenic activity. *Nutrition and Cancer*, 47, 24-33.

Han, D. i Row, K.H. (2011). Determination of luteolin and apigenin in celery using ultrasonic-assisted extraction based on aqueous solution of ionic liquid coupled with HPLC quantification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 91, 2888-2892.

Hawkes, J., Flink, J.M. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 265-284.

Hereida, A., Peinado, I., Barrera, C., Andres, G. A. (2009). Influence of process variables on colour changes, carotenoids retention and cellular tissue alteration of cherry tomato during osmotic dehydration. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 285-294.

http://www.biologyjunction.com/plant_structure_bi1.htm

<http://www.chem.wisc.edu/deptfiles/genchem/sstutorial/Text11/Tx112/tx112.html>

<http://www.sugartech.co.za/solubility/index.php>

Hussain, I., Iqbal, M., i Arub, N. (2004). Effect of sucrose and glucose mixture on the quality characteristics of osmotically dehydrated banana slices. *Pakistan Journal of Nutrition*, 46, 83-92.

Islam, M.N., Flink, J.N. (1982). Dehydration of potato 2: Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *Journal of Food Technology*, 17, 387-403.

Jacob, J.K., Paliyath, G. (2012). Infusion of fruits with nutraceuticals and health regulatory components for enhanced functionality, *Food Research International*, 45, 93-102.

Jančić, R. (2004). Botanika farmaceutika, dugo dopunjeno izdanje. Javno preduzeće Službeni list SCG, Beograd. str. 272.

Ježek, D., Tripalo, B., Brnčić, M., Karlović, D., Brnčić, R.S., Vikić-Topić, D., Karlović, S. (2008). Dehydration of celery by infrared drying. *Croatia Chemica Acta*, 81, 325-31.

Juhas, E. (1987). Metode konzervisanja prehrambenih proizvoda, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Jung, W., Chung, I., Kim, S., Kim, M., Ahmad, A., Praveen, N. (2012). In vitro antioxidant activity, total phenolics and flavonoids from celery (*Apium graveolens*) leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5, 7022-7030.

Karadag, A., Ozcelik, B., Saner, S. (2009). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2, 41-60.

Kastori, R. (1998). Fiziologija biljaka, Feljton, Novi Sad. str. 527.

Kessler, H.G. (2002). Food and Bioprocess Engineering- Dairy Technology. München: Verlag A. Kessler (Publishing House A. Kessler).

Kim, S.W., Park, S.K., Kang, S.I., Kang, H.C., Oh, H.J., Bae, C.Y., Bae, D.H. (2003). Hypocholesterolemic property of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* extracts in human body. *Archives of Pharmacal Research*, 26, 1042-1046.

Knežević, V., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj. (2012). Osmotic dehydration of pork in three different solutions-mass transfer kinetics. 6th Central European Congress on Food, CeFood 2012, 23-26 may, 2012, Novi Sad, Serbia, 744-749.

Knežević, V., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Lević, Lj., Kuljanin, T., Gubić, J. (2013). Influence of osmotic dehydration on color and texture of pork meat. *Journal on processing and energy in agriculture*, 17, 39-42.

Kojić, M., Pekić, S. (1998). Botanika, Izdavačko preduzeće „Nauka“, Beograd. str. 523

Kolarović, J., Popović, M., Zlinská, J., Trivić, S., Vojnović, M. (2010). Antioxidant activities of celery and parsley juices in rats treated with doxorubicin. *Molecules*, 15, 6193-6204.

Konopacka, D., Jesionkowska K., Klewicki R., Bonazzi C. (2009). The effect of different osmotic agents on the sensory perception of osmo-treated dried fruit. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology ISAFRUIT Special Issue*, 80–84.

Kooti, W., Ali-Akbari, S., Asadi-Samani, M., Ghadery, H., Astharz-Larky, D. (2015). A review on medicinal plant of *Apium graveolens*. *Advanced Herbal Medicine*, 1, 48-59.

Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj., Pribiš, V. (2009). Changes in nutritive and textural quality of apple osmodehydrated in sugar beet molasses and saccharose solutions. *Acta Periodica Technologica*, 40, 35-46.

Koprivica, G., Mišljenović, N., Catalin, D., Lević, Lj., Vukmirović, Dj., Ivanov, D., Čolović, D. (2010): Dehydrated sugar beet molasses as suitable raw material in the production of animal feed. *XIV International Symposium FEED TECHNOLOGY, Proceedings*, 157-167.

Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj., Jokanović, M., Jevrić, L. (2011): Effect of process parameters on the color of apple osmotically dehydrated in sugar beet molasses. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 15, 223-226.

Koprivica, G, Mišljenović, N., Pezo, L., Knežević, V., Nićetin, M., Lević, Lj., Jevrić, L. (2012). Changes in chemical properties of carrot during osmotic dehydration in sugar beet molasses. *6th central European Congress on Food. Faculty of technology, University in Novi Sad*, 632-638.

Koprivica, G. (2013). *Nutritivni profil i senzorski kvalitet voća i povrća osmotski dehidriranog u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.*

Kowalski, S., Mierzwa, D. (2011). Influence of preliminary osmotic dehydration on drying kinetics and final quality of carrot (*Daucus carota* L.). *Chemical and Process Engineering*, 32, 185-194.

Kowalski, S., Lechtanska, J.M., Szadzinska, J. (2013). Quality aspects of fruit and vegetables dried convectively with osmotic pretreatment. *Chemical and Process Engineering*, 34, 51-62.

Krokida, M., Kiranoudis, C., Maroulis, Z., Marinos-Kouris, D. (2000). Effect of pretreatment on color of dehydrated products, *Drying Technology*, 18, 1239-1250.

Landim, A.P.M., Barbosa, M. I. M. J., Barbosa, J.J.L. (2016). Influence of osmotic dehydration on bioactive compounds, antioxidant capacity, color and texture of fruit and vegetables: a review. *Ciencia Rural*, 46,1714-1722.

Lauchli, A. (1976). Apoplasmic transport in tissues. U U. Luttge, & M. Pitman (Urednici), *Encyclopedia of Plant Physiology, Transport in Plants II, Part B. Tissues and Organs* (T. 2). Berlin: Springer Verlag.

Lazarides, H. N. (1994). Osmotic dehydration: developments and prospects. U R. P. Singh, & F. Oliveira (Urednici), *Minimal Processing and Process Optimization of Foods: An Interface*. CRC Press, Boca Raton, FL, 73.

Lazarides, H. N. (2001). Reasons and possibilities to control solid uptake during osmotic treatment of fruits and vegetables. U P. Fito, A. Chiralt, J. M. Barat, W. E. Spiess, & D. Behnilian (Urednici), *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*. Pennsylvania, Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.

Le Maguer, M. (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceedings of International Symposium On progress in food preservation organized by CERIA, Centre of Education and Research on Food and Chemical Industries, Brussels, Belgium, April 12–14.*

Le Maguer, M., Shi, J., Fernandez, C. (2003). Characterization of mass transfer behaviour of plant tissues during osmotic dehydration. *Food Science and Technology International*, 9, 187-192.

Lenart, A. (1994). Osmotic dehydration of fruits before drying, in Singh RP, Oliveira Fernanda A.R. (Eds.), *Minimal processing of foods and process optimization*, CRC Press, Boca Ra-ton, FL, 87-105.

Lenart, A., Flink, J.M. (1984). Osmotic concentration of potato, 1. criteria for the endpoint of the osmosis process. *Journal of Food Technology*, 19, 45-63.

Lenart, A., Lewicki, P.P. (1987). Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue, in Mujumdar AS, (Ed.), *Drying '87*. Hemisphere Publisher, New York, NY, 239-248.

Lerici, C.R., Pinnavaia, G., Rosa, M.D., Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50, 1217-1219.

Lević, Lj., Lević, J., Koprivica, G., Mišljenović, N., Sredanović, S. (2009). The possibility of using sugar beet molasses, after osmotic dehydration of apple, as a component of animal feed. *XIII Symposium Feed Technology, Institute for Food Technology, Novi Sad, Proceeding*, 229-233.

Lević, Lj., Filipović, V., Kuljanin, T. (2007). Osmotski tretman oblikovanog korena mrkve u saharozi i melasi, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 11, 132-134.

Lewicki, P.P., Porzecka-Pawlak, R. (2005). Effect of osmotic dewatering on apple tissue structure. *Journal of Food Engineering*, 66, 43-50.

Lewicki, P. P., Lenart, A. (2006). Osmotic dehydration of fruits and vegetables. U A. S. Mujumdar (Ur.), *Handbook of Industrial Drying* (3 izd.). Taylor & Francis Group, LLC.

Li, P., Jia, J., Zhang, D., Xie, J., Xu, X., Wei, D. (2014). *In vitro and in vivo* antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery (*Apium graveolens* L. var. dulce). *Food & function*, 5, 50-56.

Lima, M.J.R., Tóth, I.V., Rangel, A.O.S.S. (2005). A new approach for the sequential injection spectrophotometric determination of the total antioxidant activity. *Talanta*, 68, 207-213.

Maestro-Durán, R., Borja, R., Jiménez, A. M., León, M. M. (1996). Phenolic compounds in sugar beet molasses. *Agrochimica*, 40, 173-179.

Magee, T.R.A., Hassaballah, A.A., Murphy, W.R. (1983). Internal mass transfer during osmotic dehydration of apple slices in sugar solutions. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 7, 147-155.

Marcotte, M., Le Maguer, M. (1991). Repartition of water in plant tissues subjected to osmotic processes. *Journal of Food Process Engineering*, 13, 297-320.

Mavroudis, N.E., Gekas, V., Sjöholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apple-effects of agitation and raw material characteristics. *Journal of Food Engineering* 35, 191-209.

Mayers, R.H., Montgomery, D.C. (2002). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, Wiley - Interscience.

Milutinović, M., Šiler-Marinković, S., Antonović, D., Mihajlovski, K., Pavlović, M., Dimitrijević-Branković, S.(2013). Antioksidativna svojstva sušenih ekstrakata iz otpadne espreso kafe, *Hemijska Industrija*, 67,261-267.

Mišan, A., Mimica-Dukić, N., Sakač, M., Mandić, A., Sedej, I., Šimurina, O., Tumbas, V. (2011). Antioxidant activity of medicinal plant extracts in cookies. *Journal of Food Science*, 76, 1239-1244.

Mišljenović, N. (2012). Osmotska dehidratacija u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze kao energetski efikasan i ekološki prihvatljiv tehnološki postupak povećanja održivosti voća i povrća. *Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad*.

Mišljenović, N., Koprivica, G., Pezo, L., Lević, Lj., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M. (2012). Optimization of the osmotic dehydration of carrot cubes in sugar beet molasses. *Thermal Science*, 16, 43-52.

Modi, H.A. (2009). *Microbial Spoilage of foods*, Gujarat Univesity, India, str. 1-8.

Mohsenin, N. (1980). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, Gordon and Breach, Science Publishers, Inc, New York, America. str. 742.

Montgomery, D.C. (2005). *Design and Analysis of Experiments: Response surface method and designs*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.

Montgomery, D.C., Runger, G.C. (2003). *Applied statistics and probability for engineers*, New York: John Wiley.

Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, J.M., Sineiro, J., Dominguez, H., Nunez M.J., Parajo, J.C. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, 72, 145–71.

Moy, J.H., Lau, B.H., Dollar, A.M. (1978). Effects of sucrose and acids on osmotic-dehydration of tropical fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2, 131-135.

Nagai, Y., Mizutani, T., Iwabe, H., Araki, S., Suzuki, M. (2001). Physiological functions of sugar cane extracts. U Proceedings of the International Meeting of Sugar Industry Technologists New York: Sugar Industry Technologists, 97-104.

Nason, A., Dehaan, R. L. (1973). *The Biological World*. New York: John Wiley & Sons.

Nelson, S.O., Datta, A.K. (2001). Dielectric properties of food materials and electric field interactions, in Datta AK, Anantheswaran RC, (Eds.), *Handbook of microwave technology for food applications*, Marcel Dekker, New York, NY, 9-114.

Nićetin, M., Filipović, V., Ćurčić, B., Knežević, V., Plavšić, D., Pezo, L., Kuljanin, T. (2012). The change in microbiological profile due to the osmotic dehydration of pork meat. 6th Central European Congress on Food, CeFood 2012, 23-26 may, 2012, Novi Sad, Serbia, 834-839.

Nićetin, M., Pezo, L., Lončar, B., Filipović, V., Šuput, D., Zlatanović, S., Dojčinović, B. (2015). Evaluation of water, sucrose and minerals effective diffusivities during osmotic treatment of pork in sugar beet molasses. *Hemijaska Industrija*, 69(3), 241-251.

- Nićetin, M., Pezo, L., Lončar, B., Filipović, V., Šuput, D., Knežević, V., Filipović, J. (2017). The possibility to increase antioxidant activity of celery root during osmotic treatment. *Journal of Serbian Chemical Society*, 82, 253-265.
- Nowicka, P., Wojdyło, A., Lech, K., Figel, A. (2015). Influence of osmodehydration pretreatment and combined drying method on the bioactive potential of sour cherry fruits. *Food Bioprocess Technology*, 8, 824-836.
- Oehlert, G.W. (2000). *Design and analysis of experiments: Response surface design*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Osorio, C., Franco, M.S., Castano, M.P., Gonzales-Miret, M.L., Hereida, F., Morales, A.L. (2007). Colour and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8, 353-359.
- Panagiotou, N.M., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. (1998). Mass transfer modelling of the osmotic dehydration of some fruits. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 267-284.
- Petrov, S., Petrov, Lj. (1980). *Priručnik za industriju šećera, Knjiga 1, Deo III, Edicija Poslovne zajednice industrije šećera Jugoslavije*, Štamparija PTT, Beograd, 177-271.
- Pezo, L., Ćurčić, B., Filipović, V., Nićetin, M., Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj. (2013). Artificial neural network model of pork meat cubes osmotic dehydration, *Hemijska industrija*, 67, 465-475.
- Pezo, L., Pavlović, M., Ostojić, S., Zlatanović, S., Gvozdenović, J. "Softversko rešenje za izračunavanje kolorograma digitalnih fotografija namaza na bazi bosiljka i drugih bioloških materijla koji menjaju boju usled oksidacije", broj 104/3, prihvaćeno 06.07.2010. godine na Univerzitetu u Beogradu, Matematički fakultet, Srbija
- Phisut, N. (2012). Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits – MiniReview. *International Food Research Journal*, 19, 7-18.
- Ponjičanin, O., Babić, M., Radojčin, M., Bajkin, A., Radomirović, D. (2013). Changes in physical properties of celery root after osmotic drying, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 17, 152-157.
- Ponting, J. D. (1973). Osmotic dehydration of fruits, recent modifications and applications. *Process Biochemistry*, 8, 18-20.
- Ponting, J.D., Walters, G.G., Forrey, R.R., Jackson, R., Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology*, 20, 125-128.

Popović, M., Kaurinović, B., Trivić, S., Mimica-Dukić, N., Bursać, M. (2006). Effect of celery (*Apium graveolens*) extracts on some biochemical parameters of oxidative stress in mice treated with carbon tetrachloride. *Phytotherapy Research*, 20, 531-537.

Potter, N. N., Hotchkiss, J. H. (1998). *Food Science* (Fifth izd.). Gaithersburg, Maryland : Aspen Publishers, Inc.

Prakash, A., Inthajak, P., Huibregste, H., Caporaso, F., Foley, D.M. (2000). Effects of low-dose gamma irradiation and conventional treatments on shelf life and quality characteristics of diced celery. *Journal of Food Science*, 65, 1070-1075.

Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane u bilo kojoj fazi proizvodnje, prerade i prometa (2010). *Službeni glasnik RS*, 72/10.

Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290–4302.

Qi, H., Le Maguer, M., Sharma S.K. (1998). Design and Selection of Processing Conditions of a Pilot Scale Contactor for Continuous Osmotic Dehydration of Carrots. *Journal of Food Process Engineering*, 21, 75-88.

Quiles, A., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Larrea, V., Llorca, E., Lluch, M.A. (2005). Polyphenoloxidase (PPO) activity and osmotic dehydration in Granny Smith apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1017–1020.

Radojčin, M., Babić, M., Babić, Lj., Pavkov, I., Stojanović, Č. (2010). Color parameters change of quince during combined drying. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14, 81-84.

Rahman, M. S. (2009). *Food Properties Handbook* (Second Edition), Taylor & Francis Group, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, str. 861.

Rahman, M.S. i Lamb, J. (1990). Osmotic dehydration of pineapple. *Journal of Food Science and Technology* 27, 150-152.

Rahman, M.S. (2007). *Osmotic Dehydration of Foods*. U M. S. Rahman (Ur.), *Handbook of Food Preservation* (2 izd.). CRC Press.

Raoult-Wack, A.L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5, 255-260.

Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Niranjana, K. and Knorr, D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 48-59.

Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering fickian diffusion in cubical configuration, *LWT - Food Science and Technology*, 37, 43-47.

Ratti, C., Mujumdar, A.S. (2005). *Drying of fruits, Processing fruits*, CRC press LLC, str. 562.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorisation assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231–1237.

Riva, M., Campolongo, S., Leva, A., Maestrelli, A., Torreggiani, D. (2005). Structure property relationships in osmo-air-dehydrated apricot cubes, *Food Research International*, 38, 533-542.

Rodrigues, A. E., Mauro, M. A. (2004). Water and sucrose diffusion coefficients in apple during osmotic dehydration. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, (str.2097-2104). Sao Paulo, Brazil.

Sablani, S.S., Shafiur Rahman, M., Al-Sadeiri, D.S. (2002). Equilibrium distribution data for osmotic drying of apple cubes in sugar-water solution. *Journal of Food Engineering*, 52, 193-199.

Saputra, D. (2001): Osmotic dehydration of pineapple. *Drying Technology*, 19, 415 – 425.

Saurel, R., Raoult-Wack, A., Rios, G., Guilbert, S. (1994a). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. I Fresh plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology* 29, 531-537.

Saurel, R., Raoult-Wack, A., Rios, G., Guilbert, S. (1994b). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. II Frozen plant tissue. *International Journal of Food Science and Technology* 29, 538-542.

Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. (2004). *Tables of composition and nutritional value of feed materials*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 236-239.

Šerban, M. N. (2001). *Ćelija - strukture i oblici*. Beograd: ZUNS.

Sereno, A.M., Moreira, R., Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*, 47, 43-49.

Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y., Lipaty, A. (1999). Lycopene degradation and isomerisation in tomato dehydration. *Food Research International*, 32, 15-21.

Shi, J., Le Maguer, M. (2002). Osmotic dehydration of foods: mass transfer and modelling aspects. *Food Reviews International*, 28, 305-335.

Shi, J., Le Maguer, M. (2003). Mass transfer flux at solid-liquid contacting interface. *Food Science and Technology International*, 9, 193-199.

Shi, J., Xue, J.S. (2009). Application and development of osmotic dehydration technology in food processing. In Ratti, C. (Ed). *Advances in food dehydration*. CRC Press. USA.

Silva, V. M., Silva, A.L., Andrade, J. B., Veloso, M.C., Santos, G. V. (2008). Determination of moisture content and water activity in algae and fish by thermo analytical techniques. *Química Nova*, 31, 901-905.

Singla, R., Ganguli, A., Ghosh, M. (2010). Antioxidant activities and polyphenolic properties of raw and osmotically dehydrated dried mushroom (*Agaricus bisporous*) snack food. *International Journal of Food Properties*, 13, 1290-1299.

Singleton, V., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

Souci, SW., Fachmann, W., Kraut, H. (2000). *Food composition and nutrition tables*, 6th edn. (eds) Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching b. München, Medpharm Scientific Publishing, Stuttgart, Germany (Boca Raton, London, NewYork, Washington, DC:CRCPress), 681-682.

Spanswick, R. M. (1976). Symplasmic transport in tissues. U U. Luttge, & M. G. Pitman (Urednici), *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 2. Transport in Plants II, Part B. Tissues and Organs. Berlin: Springer Verlag, str. 35.

SRPS EN ISO 6579:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za otkrivanje *Salmonella* spp.

SRPS EN ISO 6869:2008, Hrana za životinje - Određivanje sadržaja kalcijuma, bakra, gvožđa, magnezijuma, mangana, kalijuma, natrijuma i cinka - Metoda atomske apsorpcione spektrometrije (AAS).

SRPS ISO 16649-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za određivanje broja β -glukuronidaza pozitivne *Escherichia coli* - Deo 2: Tehnika brojanja kolonija na 44°C pomoću 5-bromo-4-hloro-3-indolil β -D-glukuronida.

SRPS ISO 21527-2:2008, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za određivanje broja kvasaca i plesni, - Deo 2: Metoda brojanja kolonija u produktima kod kojih je vrednost aktivnosti vode manja ili jednaka 0,95.

SRPS ISO 21528-2:2009, Mikrobiologija hrane i hrane za životinje - Horizontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja *Enterobacteriaceae* - Deo 2: Metoda brojanja kolonija.

STATISTICA. (2010). v.10, Stat-Soft. Inc., USA.

Sun, T., Tanumihardjo, S.A. (2007). An integrated approach to evaluate food antioxidant capacity. *Journal of Food Science*, 72, R159–R165.

Sunjka, P.S. and Raghavan, G.S.V. (2004). Assessment of pretreatment methods and osmotic dehydration for cranberries. *Canadian Biosystems Engineering*, 46.

Šuput, D., Lazić, V., Pezo, L., Lončar, B., Filipović, V., Nićetin, M., Knežević, V. (2015). Effects of temperature and immersion time on diffusion of moisture and minerals during rehydration of osmotically treated pork meat cubes. *Hemijska Industrija*, 69, 297-304.

Šušić, S., Kukić, G., Sinobad, V., Perunović, P., Koronovac, B., Bašić, Đ. (1995). *Osnovi tehnologije šećera*. Beograd: Industrija šećera Jugoslavije „Jugošećer“ D. D.

Šušić, S., Sinobad, V. (1989). Istraživanja u cilju inapređenja industrije šećera Jugoslavije. *Hemijska industrija*, 43, 10-21.

Sužnjević, D., Pastor, F., Gorjanoviš, S. (2011). Polarographic study of hydrogen peroxide anodic current and its application to antioxidant activity determination. *Talanta*, 85(3), 1398-1403.

Sužnjević, D., Pastor, F., Gorjanoviš, S. (2015). DC polarographic examination of Hg 2+ reduction applicability to antioxidant activity determination. *Electrochimica Acta*, 168, 240-245.

Takara, K., Ushijima, K., Wada, K., Iwasaki, H., Yamashita, M. (2007). Phenolic compounds from sugarcane molasses possessing antibacterial activity against cariogenic bacteria. *Journal of Oleo Science*, 56, 611-614.

Talens, P., Martinez-Navarrete, N., Fito, P., Chiralt, A. (2002). Changes in optical and mechanical properties during osmodehydrofreezing of kiwi fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3, 191-199.

Thielemans, A., Massart, D.L. (1985). The use of component analysis as a display method in the interpretation of analytical chemical, biological, environmental and epidemiological data. *Chimia*, 39, 236-242.

Thimm, J.C., Burritt, D.J., Ducker, W.A., Melton, L.D. (2000). Celery (*Apium graveolens* L.) parenchyma cell walls examined by atomic force microscopy: effect of dehydration on cellulose microfibrils, 212, 25-32.

Tonon, R., Baroni, A., Hubinger, M. (2007). Osmotic dehydration of tomato in ternary solution: influence of process variables on mass transfer kinetics and an evaluation of the retention of carotenoids. *Journal of Food Engineering*, 82, 509-517.

Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing, *Food Research International*, 26, 59-68.

Torreggianni, D., Forni, E. Erba , M. L., Longoni , F. (1995). Functional properties of pepper osmodehydrated in hydrolyzed cheese whey permeate with or without sorbitol. *Food Research International*, 28, 161-166.

Torreggiani, D., Bertolo G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.

Tortoe, C. (2010). A review of osmodehydration for food industry. *African Journal of Food Science*, 4, 303-324.

Tyagi, S., Chirag, J. P., Dhruv, M., Ishita, M., Gupta, A. K., Usman, M.R.M., Nimbiwal, B., Maheshwari, R.K. (2013). Review article: Medical benefits of *Apium graveolens* (*celery herb*). *Journal of Drug Discovery and Therapeutics*, 1, 36-38.

Urle , U., Schubert, H. (2001). Combined Osmotic and Microwave- Vacuum Dehydration of Apples and Strawberries. *Food Preservation Technology Series: Osmotic dehydration and Vacuum Impregnation*, Chapter 18.

Valli, V., Caravaca, A.G., Di Nunzio, M., Danesi, F., Caboni, M.F. i Bordoni, A. (2012). Sugar cane and sugar beet molasses, antioxidant-rich alternatives to refined sugar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 12508-12515.

Vereš, M. (2004). *Principi konzervisanja namirnica*, Poljoprivredni fakultet, Beograd.

Viktorović, J., Terek, Lj., Karadžić, V. (1966). Ispitivanje melasa Jugoslovenskih fabrika šećera. *Institut za prehrambenu industriju*, Novi Sad, 33-35.

Voronjec, D. (1979). *Tehnološke operacije*. Mašinski fakultet, Beograd, Srbija, str. 276.

Wahab, I.B.A., Ismail L.H.B. (2012). A study on plant selection for green building design. *Journal of Science and Technology*, 4, 65-78.

Warczok, J. (2005). Concentration of osmotic dehydration solutions using separation processes (T. Doktorska disertacija). *Universitat Rovira i Virgili, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química*.

Wills, R., McGlasson, B., Graham, D., Joyce, D., (2007). *Postharvest*, University of New South Wales Press Ltd, Sydney, Australia, str. 592.

Wojdyło, A., Figiel, A., Oszmiański J. (2007). Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57, 601-605.

www.yellowtang.org

Yao, Y., Sang, W., Zhou, M., Ren, G. (2010). Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars. *Journal of Food Science*, 75, 9-13.

Yao, Y. i Ren, G. (2011). Effect of thermal treatment on phenolic composition and antioxidant activities of two celery cultivars. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 181-185.

Zheng, W., Wang, S. Y. (2001). Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5165-5170.